

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra hydromechaniky a hydraulických zařízení

**Návrh testovacího zařízení pro filtraci hydraulických
kapalin**

*Design of Testing Equipment for Filtration of Hydraulic
Liquids*

Jméno a příjmení studenta: Bc. Petr Kadlček

Vedoucí diplomové práce: doc. Ing. Martin Vašina, Ph.D.

Ostrava 2014

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Petr Kadlček**
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: 3909T001 Konstrukční a procesní inženýrství
Specializace: 16 Hydraulické a pneumatické stroje a zařízení
Téma: **Návrh testovacího zařízení pro filtraci hydraulických kapalin**
Design of Testing Equipment for Filtration of Hydraulic Liquids

Zásady pro vypracování:

1. Vypracujte literární rešerši v dané problematice.
2. Navrhněte zařízení pro filtraci hydraulických kapalin.
3. Proměřte kvalitu filtrace kapalin.
4. Vyhodnoťte naměřená data.
5. Zhodnoťte přínosy práce.
6. Citujte použitou literaturu.

Seznam doporučené odborné literatury:

EXNER, H., FREITAG, R., et al. *Der Hydraulik Trainer Band 1, Grundlagen und Komponenten der Fluidtechnik Hydraulik*. Mannesmann Rexroth GmbH, Lohr am Main, 1991. ISBN 3-8023-0619-8.
DREXLER, P.; FAATZ, F. *Projektování a konstrukce hydraulických zařízení*. Lohr am Main: Mannesmann Rexroth, 1988. ISBN 3-8023-0266-4.
KOPÁČEK, J.; PAVLOK, B. *Tekutinové mechanismy*. Ostrava: VŠB TU Ostrava, 1994, 1. vyd., 151 s. ISBN 80-248-238-2.
WILL, D.; GEBHARDT, N. *Hydraulik Grundlagen, Komponenten, Schaltungen*. Springer, Berlin, 2008, 4. vyd. 450 s. ISBN 978-3-540-79534-6.
PAVLOK, B. *Hydraulické prvky a systémy, díl 2. Řídicí prvky hydrostatických systémů. Příslušenství hydraulických obvodů*. Ostrava: VŠB TU Ostrava, 2008, 2. vyd., 140 s. ISBN 978-80-248-1827-6.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Martin Vašina, Ph.D.**

Datum zadání: 13.12.2013

Datum odevzdání: 19.05.2014

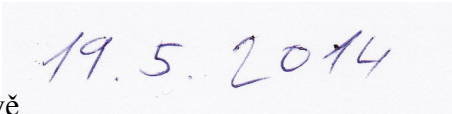
doc. Dr. Ing. Lumír Hružík
vedoucí katedry

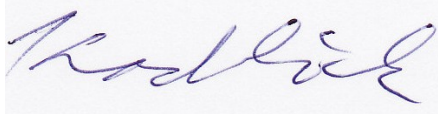


doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

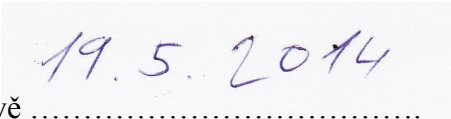
V Ostravě


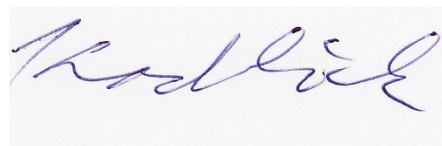

.....

podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на ве́домі́, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на ве́домі́, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě



.....

podpis studenta

Jméno a příjmení autora práce:

Petr Kadlček

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Sadová 972

687 51 Nivnice

Anotace diplomové práce

KADLČEK, P. *Návrh testovacího zařízení pro filtraci hydraulických kapalin: diplomová práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra hydromechaniky a hydraulických zařízení, 2014, 62 s. Vedoucí práce: Vašina, M.

Diplomová práce je zaměřena na hodnocení filtračních elementů a jejich zapojení v obvodu s přihlédnutím na filtrační účinnost. Úkolem této práce, je navržení testovacího zařízení a odzkoušení již stávajících filtrů v sériovém a paralelním zapojení a zlepšení stávající konstrukce popřípadě použití nových filtračních materiálů. Práce byla vypracována ve spolupráci s firmou Filtration Technology s.r.o. a čistota oleje byla vyhodnocena čítačem částic CM20.2021 od firmy Parker. Dále byl popsán vznik a působení nečistot v hydraulickém obvodu a stanovení znečištění hydraulických kapalin.

Anotation of dissertation Thesis

KADLČEK, P. *Design of Testing Equipment for Filtration of Hydraulic Liquids*. Ostrava: VŠB - Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Hydrodynamics and Hydraulic Equipment, 2012, 62 p. Thesis head: Vašina, M.

The thesis is focused on evaluating filter elements and their implementation into the circuit according to their filter efficiency. Purpose of this thesis is to design a testing device and to test already existing filters in serial and parallel connection and to improve existing constructions or use new filter materials. The thesis was made in cooperation with company Filtration Technology Ltd and the oil purity was measured by particle counter CM20.2021 from Parker Company. Also a formation and effect of dirt in hydraulic circuit and measuring of hydraulic liquids pollution were described.

Obsah

Seznam použitého značení.....	3
1 Úvod.....	4
1.1 Vlastnosti kapaliny a ovlivnění filtrace.....	4
2 Vznik nečistot.....	6
2.1 Druhy nečistot	7
2.2 Účinky nečistot.....	8
2.2.1 Eroze	9
2.2.2 Abraze	10
2.2.3 Kavitace	12
2.2.4 Adheze	12
2.2.5 Efekt „smirkového papíru“	13
2.3 Vliv nečistot na hydraulické prvky	14
3 Typy filtrů, jejich materiály a konstrukce	16
3.1 Základní členění materiálů:.....	16
3.2 Materiály	17
3.3 Konstrukce filtračního elementu	19
3.4 Filtrace povrchem vložky.....	20
3.5 Rozdělení filtrů v obvodu.....	20
3.6 Multi-pass test	24
3.7 Popis by-pass filtrace	25
4 Popis norem NAS 1638, ISO 4406.....	26
Kód čistoty hydraulické kapaliny	26
4.1 Určení kódu čistoty	27
4.2 Postupy zjištění kódu čistoty.....	30
5 Volba kapaliny pro test.....	34
6 Test nanomateriálů.....	36
6.1 Popis použitých měřidel a zařízení	37

6.2	Použité nanofiltrační materiály	37
7	Návrh filtračního zařízení.....	44
7.1	Popis testovacího zařízení	44
7.2	Filtrace oleje při aplikaci filtru bez zatěsnění	46
7.3	Filtrace oleje při aplikaci filtru se zatěsněním	47
7.4	Dva paralelně řazené filtry	50
7.5	Dva sériově řazené filtry	51
8	Ekonomické vyhodnocení	55
9	Závěr	58
	Seznam použité literatury	60

Seznam použitého značení

Značka	Název	Rozměr
D	Průměr filtrační vložky	[mm]
E	Energie	[kWh]
E_c	Celková energie	[kWh]
P	Výkon elektromotoru	[kW]
P_i	Hydraulický výkon	[W]
P_p	Příkon	[kW]
T	Měřicí interval	[s]
N_1	Počet větších částic než daný rozměr x před filtrem	[1]
N_2	Počet větších částic než daný rozměr x za filtrem	[1]
Q_v	Průtok hydrogenerátorem	[m ³ .s ⁻¹]
h	Výška filtrační vložky	[mm]
p	Tlak před filtrační vložkou	[MPa]
t	Teplota pracovní kapaliny	[°C]
n	Otáčky elektromotoru	[min ⁻¹]
β_x	Filtrační koeficient	[1]
ν	Kinematická viskozita	[mm ² .s ⁻¹]
ρ	Hustota oleje	[kg.m ⁻³]
η_c	Celková účinnost	[1]
$\eta_{m, p}$	Mechanicko-tlaková účinnost	[1]
η_Q	Průtoková účinnost	[1]
η_x	Filtrační účinnost	[1]

1 Úvod

Hydraulická kapalina se vlivem používání hydraulických zařízení „opotřebovává“. Dochází k její degradaci vlivem tepla, světla, mechanických otřepů a vnikání nečistot z okolí pracovního stoje. Tyto nečistoty pak způsobují v hydraulickém obvodu opotřebení komponent obvodu, jako je například eroze hran šoupátek popřípadě zanesení vlivem měkkých nečistot a tím nefunkčnost celého obvodu. Popřípadě takzvaný efekt „smirkového papíru“, což je působení tvrdých a měkkých nečistot současně.

Filtrace hydraulických kapalin není jenom pročišťování pracovního média od pevných nečistot, jako jsou otřepy a prachové částice. Velmi často se musí zamezit také vstupu měkkých nečistot, jako jsou různá vlákna, nerozpuštěné parafíny a nečistoty vzniklé při práci stroje. Často jsou nečistotami saze a karbonové částice vzniklé kavitací v hydraulickém obvodě, kdy bublinka vzduchu rychle imploduje (exploduje) a bodově zaniká. V těchto místech imploze (často u zubových hydrogenerátorů vlivem špatné sací výšky) se vyvíjejí velké tlaky a teploty, což má za následek karbonizaci (spálení) malé části oleje, ze které se stane pevná částice.

Aby se nejvíce prodloužila funkčnost hydraulického zařízení a přesnost jeho provozu, je velmi důležité navržení správné filtrace hydraulického oleje.

1.1 Vlastnosti kapaliny a ovlivnění filtrace

U kapalin rozlišujeme chemické složení, viskozitu a jakými nečistotami je kapalina znečištěna.

Pro každou hydraulickou kapalinu by měl být přidělen určitý druh filtru. Například nelze některými syntetickými filtračními látkami filtrovat agresivní hydraulické kapaliny, protože by to zapříčinilo jejich degradaci (rozleptání).

Chemické složení

Složení kapaliny nás většinou nezajímá, jen v případě, že kapalina je agresivní k filtračnímu materiálu. V případě, že se jedná o elektrostatické čištění kapaliny, může nám toto čištění vyloučit aditiva z hydraulické kapaliny a tím se nám změní i chemické složení.

Viskozita

Vliv viskozity je nezanedbatelný, pokud je hydraulická kapalina vysoce viskózní za nízkých teplot, může tak dojít k poškození popřípadě protržení filtračního elementu.

Proto se u strojů (většinou mobilních) pracujících venku instalují filtrační elementy o menší filtrační účinnosti. [2]

2 Vznik nečistot

V hydraulických obvodech lze nečistoty obecně rozdělit do čtyř kategorií:

a) Primární nečistoty

Nečistoty z hydraulických prvků, potrubí a nádrže. Typickými nečistotami tohoto druhu jsou třísky vzniklé při montáži šroubení, otřepy, písek, prach, vlákna z čisticích prostředků, okuje ze svařování, odloupené kousky nátěrů, zbytky proplachovací kapaliny a rozpouštědla.

b) Okolní nečistoty

Tyto nečistoty vnikají do obvodu z okolí. Většinou po povrchu pístnice, nebo nedostatečnou těsností odvědušňovacích (plnicích) otvorů v nádrži. Jedná se většinou o prachové částice, písek a mikroorganismy.

c) Nečistoty vzniklé v obvodu

Vznikají prouděním hydraulické kapaliny, nebo provozem pohyblivých prvků obvodu. Jsou to produkty opotřebení, koroze a erozivní činnosti již vzniklých nečistot.

d) Nečistoty vzniklé z hydraulické kapaliny

Nečistoty vzniklé samovolným vypadnutím aditiv (diverzanty, antioxidanty, proti-otěrové přísady a další):

- Polymery vzniklé chemickou interakcí mezi aditivy nebo hydrolýzou, které se dají filtrovat.
- Nečistoty vzniklé z přepravních obalů, nebo již při výrobě hydraulické kapaliny.
- Laky a pryskyřice vzniklé chemickými změnami v kapalině působením tlaků, mikroorganismů a teploty. (například při implozi bublinek vzduchu v hydrogenerátoru vzniká malá částice spáleného oleje, která je velmi tvrdá). [16]

2.1 Druhy nečistot

Pevné částice:

- Do soustavy vnesené částice.
- Částice vzniklé v důsledku pohybu strojních částí.
- Částice vzniklé erozní činností na funkčních hranách hydraulických prvků. Eroze vzniká v důsledku částic, již obsažených v hydraulické kapalině vlivem velkých průtočných rychlostí v malých štěrbinách. (například u šoupátkového rozvaděče)

Pevné částice se v hydraulických obvodech vyskytují ve všech velikostech a tvarech.

Voda:

Vzhledem ke své slučitelnosti s jinými kapalinami se v hydraulických systémech vyskytuje vždy. A to:

- Rozpuštěná
- Ve formě emulze
- Ve formě suspenze
- Ve formě kondenzátu (na víku nádrže)

Mikroorganismy:

Vyskytují se zejména v emulzních kapalinách a to v zastoupení virů, mikrobů, hub, jednobuněčných organismů a řas.

Tvary částic:

Nečistoty jsou většinou nepravidelného tvaru, ale rozlišujeme pro jednoduchost deset označení.

- Jehlicovité
- Krystaly geometrických tvarů
- Krystaly rozvětvené
- Vlákna

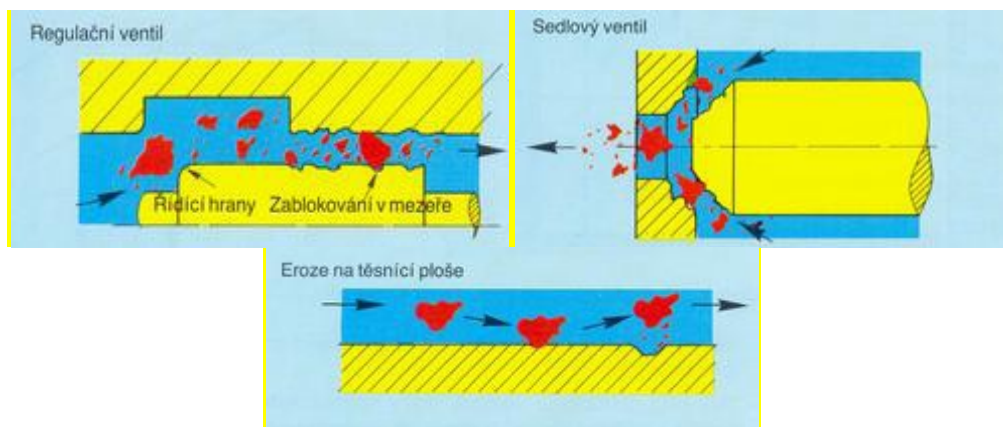
- Vločky
- Granule
- Nepravidelné (postrádající jakoukoli symetrii)
- Nepravidelné tvary zaoblené
- Kulovitého tvaru
- Agregáty – tvořené shlukem několika spojených částic velmi pevnými vazbami.
- Aglomeráty – tvořící shluk několika částic spojených pouze slabšími vazbami například elektrostatickými poli. [16]

2.2 Účinky nečistot

Měkké nečistoty způsobují stárnutí kapaliny a degradaci, která je zřetelná hlavně zbarvením kapaliny. Měkké znečištění způsobuje nepřesný chod šoupátek ventilů a „zalepování“ dalších součástí systému. Nejnebezpečnější jsou hrubé nečistoty (eroze, abraze a s tím spojené poruchy). Za hrubé nečistoty se považují částice větší jak 20 μm . Jemné nečistoty jsou rovněž nebezpečné (způsobují erozi a stárnutí kapaliny). Za jemné částice považujeme velikosti 5- 15 μm .

Tvrdé nečistoty zapříčiňují při rozměrech větších než funkční mezera jejich ucpání a abrazivní působení na všechny kluzné dvojce v zařízení. Nejmenší nečistoty nám v obvodu zapříčiňují opotřebení erozí a to ostrých hran šoupátek a jiných ploch a hran.

Pro komponenty hydraulického obvodu jsou nejnebezpečnější takzvané „tvrdé nečistoty“. U těchto nečistot, závisí na jejich velikosti, tvaru a materiálu z jakého jsou složeny. Dále rozhoduje velikost funkčních mezer v komponentech obvodu. Erozivní a abrazivní opotřebení vzniká v obvodu vždy, ale do jaké míry se projevují, závisí na jemnosti filtrace hydraulického obvodu. Nikdy se neobjevuje eroze a abraze zvlášť. Objevují se vždy současně s různým procentuálním podílem, jenž závisí na hustotě a velikosti částic zastoupených v hydraulickém obvodě. [7]

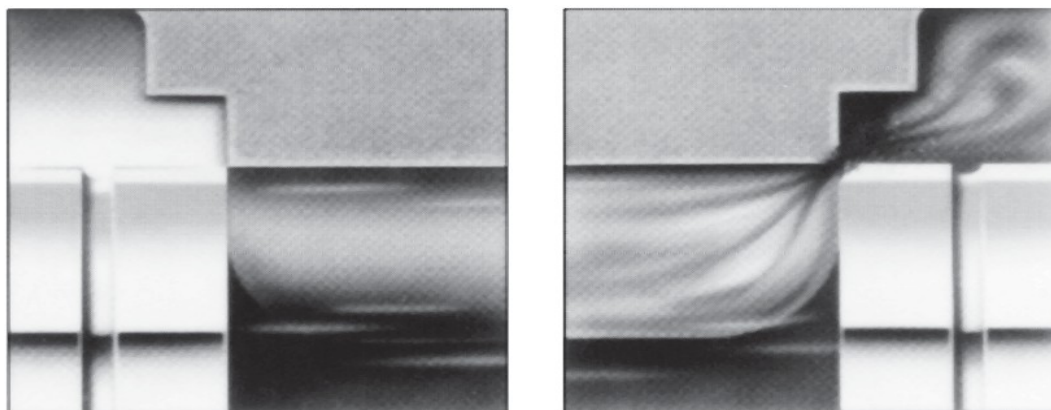


Obr. 1 Opotřebení povrchu v důsledku pevných látek v médiu. [7]

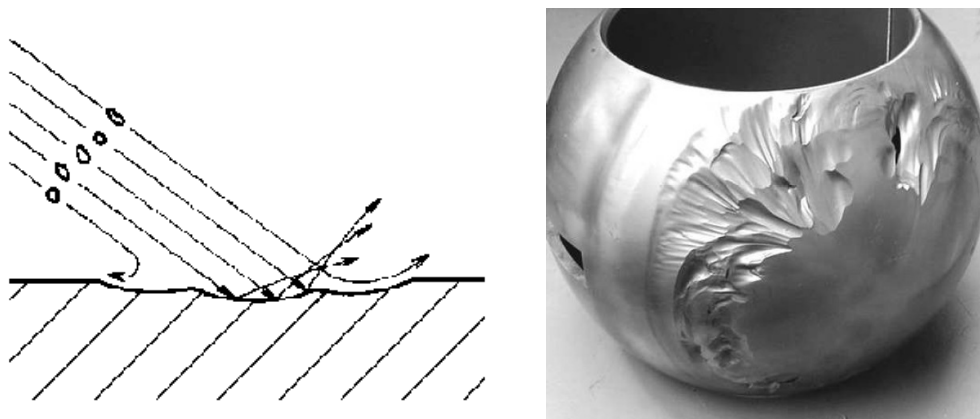
2.2.1 Eroze

Nečistoty o velikosti 2-10 μm , které jsou unášeny proudem kapaliny a ohlazují funkční hrany prvků. Intenzita opotřebení závisí na tlaku v obvodu (čím vyšší tlak, tím větší eroze). Je to důsledek kinetické energie částic, které jsou urychlovány proudem a tlakem kapaliny. Jejich působen se mění rozměry a narůstají průsaky v obvodu.

Působením eroze se generují další erozivní částice, které přispívají k čím dál rychlejšímu opotřebení zařízení a dále pak k poruchám zkrácení životnosti. [2]



Obr. 2 Omílání funkční hrany součásti.[2]



Obr. 3 Ukázka erozivního mechanismu a eroze na těle kulového ventilu.[10]

2.2.2 Abraze

Vyskytuje se mezi klznými plochami pohybujících se dvojic. Zapříčiňuje rýhy na povrchu dvojic a z toho vyplývá opotřebení, změna rozměrů a distribuce dalších pevných částic do obvodu. V tomto důsledku účinnost obvodu klesá.

Abrazivní nečistoty se velikostí rovnají vůli mezi klznými dvojicemi, což odpovídá 10 až 20 μm . Nečistoty jsou obecně velmi tvrdé, protože se jedná většinou o písek, který vniká do obvodu, nebo o kovový otěr. Abrazivní opotřebení je nejenom způsobeno nečistotami v kapalině, ale také nerovnostmi na plochách klzných dvojic, které jsou zapříčiněny výrobou. Proto se doporučuje po záběhu zařízení výměna hydraulické kapaliny.

Vliv množství

Pokud je v obvodu nashromážděno velké množství nečistot, dochází k jejich vrstvení či shlukování a dochází tím k abrazivnímu poškození, (takový sediment funguje jako brusná pasta) a to i v případě, že částice mají menší velikost, než funkční mezera mezi prvky. V tomto případě je velká pravděpodobnost, že se nečistoty budou shromažďovat z abrazivního hlediska opotřebení na velmi nepříznivé ostrohranné tvary a jejich polohová orientace bude vést k mnohem intenzivnějšímu opotřebení povrchu.

Vliv tvaru

U částic způsobujících abrazi je jejich tvar velmi významný. Zaoblené částice budou dělat mnohem menší škody, než částice ostrohranné.

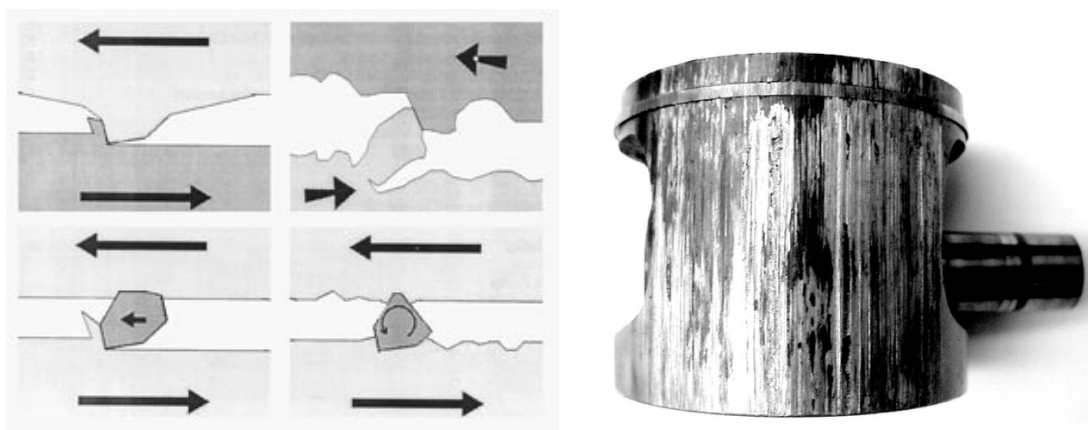
Vniknutí částice do plochy materiálu bude záviset kromě síly také na tvaru. Působit bude i případné přetočení částice, které bude ovlivňovat namazání povrchu a poměr proudění v mazací vrstvě.

Vliv velikosti

Jestliže jsou abrazivní částice uzavřené mezi dvěma plochami a jsou menší, než štěrbina, nedochází k opotřebení. Jestliže jsou nečistoty větší, než mezera popřípadě tloušťka mazacího filmu dochází k abrazivnímu opotřebení. U takto kriticky velkých nečistot už přítomnost mazacího filmu nemá vliv na výskyt abrazivního opotřebení. Proto je požadavek na filtrační schopnost filtrů odebírat tyto nečistoty, jelikož páchají v obvodu velké neopravitelné škody a to jak u mazacích, tak hydraulických obvodů.

Vliv tvrdosti

Čím je tvrdší abrazivní částice (v závislosti na tvaru), tím více působí na povrch kluzných dvojic. Tím je vniknutí do materiálu pro tyto nečistoty snazší a z toho vyplývá intenzivnější opotřebení součástí. Tím lze také odůvodnit a vysvětlit neustálou snahu technologů a konstruktérů dosáhnout povrchů co možná nejtvrdších u těch součástí, kde je očekáváno abrazivní opotřebení. [10]



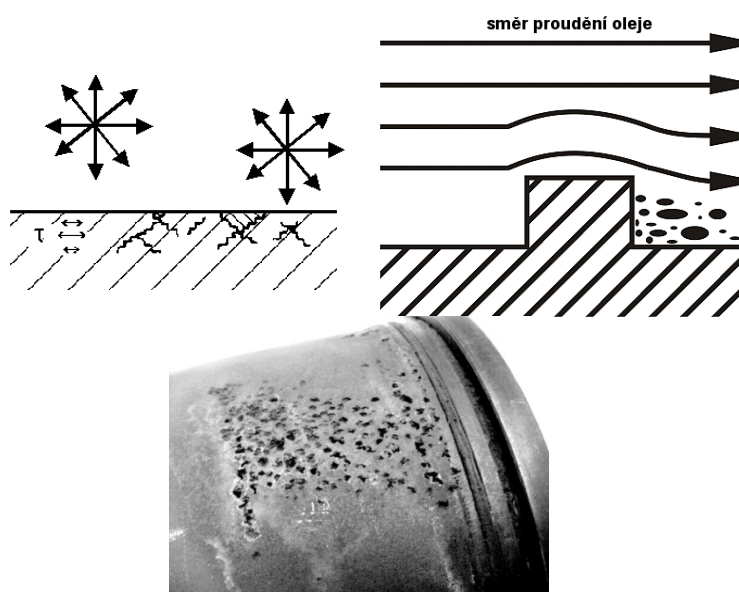
Obr. 4 Ukázka abrazivní opotřebení na pístu spalovacího motoru.[10]

2.2.3 Kavitace

Kavitace je sama zdrojem nečistot, ale nečistoty ji nezpůsobují. Vede k postupné degradaci členů obvodu zejména hydrogenerátorů. *Kavitace je způsobena poklesem tlaku pod bod nasycených par v kapalině.* Při vzniku kavitace jsou nejdůležitější činitelé:

- Obsah plynů v kapalině.
- Teplota a tlakové poměry.
- Povrchové napětí a viskozita kapaliny.

Vznik kavitace je v oblasti vyššího tlaku, kdy bubliny vzniklé kavitací implodují (explodují) a zanikají. Vzniká tak hydrodynamický ráz, který poškozuje povrch materiálu (v podstatě vytrhává kousky materiálu ze součásti v nejčastějším místě výskytu kavitace). Velmi často se vyskytuje v hydraulických systémech a tlakově mazaných ložiscích. [10]



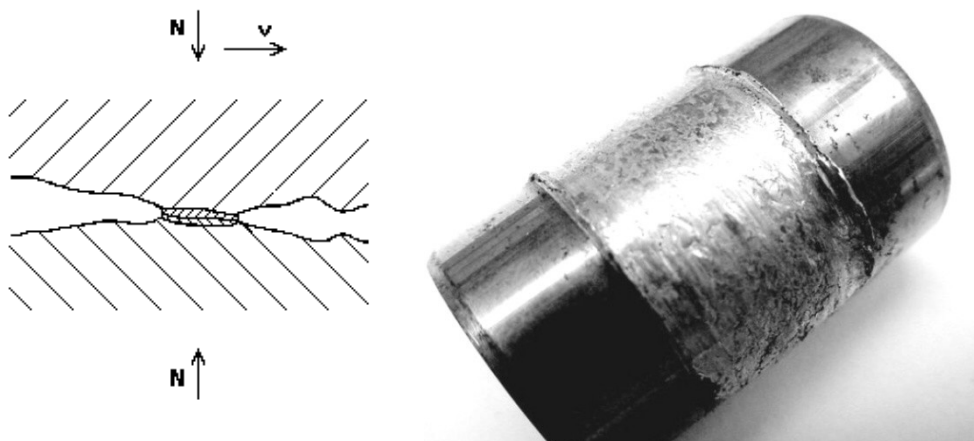
Obr. 5 Ukázka kavitačního opotřebení u pístu spalovacího motoru. [10]

2.2.4 Adheze

Tento jev nevzniká působením nečistot, ale jen je generuje.

Tomuto jevu dochází při smýkání dvou těles po sobě. Čímž se plochy dotýkajících materiálu odírají a vzniká jí mezi plochami mikrosvary, které jsou následně pohybem součástí trhány. Při rozrušení spojů těchto mikrosvarů dochází k vytržení materiálu a uvolnění mikroskopických nečistot.

Činitel adhezivního opotřebení je velikost mikronerovností, hloubka vniknutí, velikost zatížení a rychlost pohybu součástí. Také je důležité, jaká je adhezivní schopnost (odolnost) materiálu.



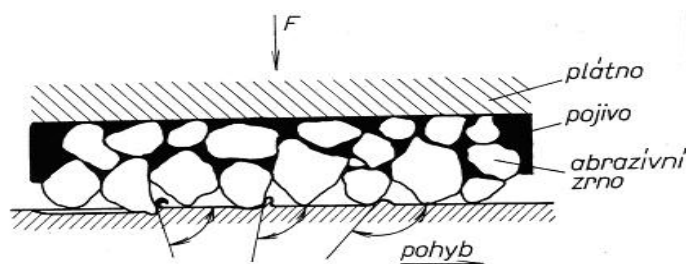
Obr. 6 Působení adheze na válcové ploše čepu. [10]

2.2.5 Efekt „smirkového papíru“

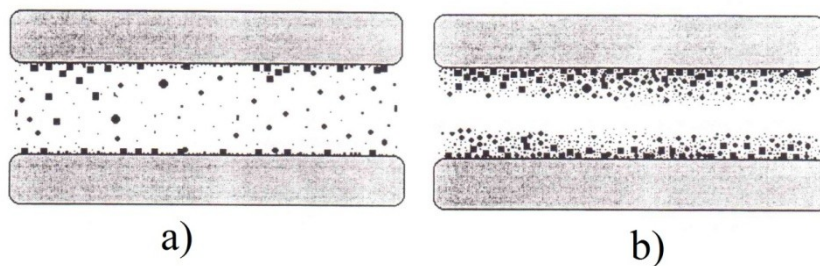
Ochlazením oleje dochází k navázání měkkých a tvrdých nečistot na plochu funkčních členů. Takovému jevu říkáme „efekt smirkového papíru“.

Příčinou tohoto jevu jsou oxidační produkty v hydraulické kapalině, což jsou pryskyřičné hmoty a parafíny. Tyto hmoty působí jako pojivo a váží k sobě tvrdé nečistoty. Takto vzniklá povrchová vrstva má velice hrubý povrch. Tím se zvyšuje třecí koeficient na plochách kluzných dvojic a toto zvýšení se nazývá „smirko-papírový efekt“. Při opětovném zapnutí stroje tento film zapříčiňuje opotřebování kluzných ploch a akumulaci nových nečistot. Pryskyřice a parafíny také zanášejí a zalepují filtry a ventily hydraulického zařízení.

Pryskyřice a parafíny jsou v oleji téměř nerozpustné a jejich rozpustnost závisí na teplotě kapaliny. Po ochlazení pracovní kapaliny se tyto látky vysrážejí a stuhou.



Obr. 7 Působení filmu nečistot nazývaných „smirko-papírový efekt“. [3]

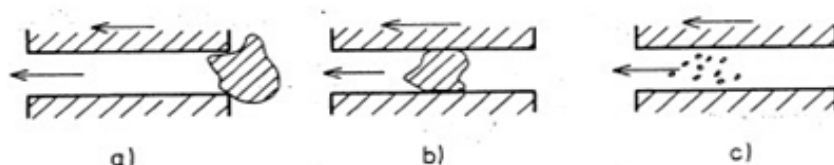


Obr 8 a) Běžný provoz zařízení. b) 10-15 hodin po odstavení stroje vzniká „smirko-papírový efekt" [18]

2.3 Vliv nečistot na hydraulické prvky

Znečištění:	Působení:	Účinky:
Nejjemnější – částice 2 – 5 μm	Zkracování funkce a snižování výkonu	<ul style="list-style-type: none"> - Jemná usazenina v úzkých mezerách - Eroze nejjemnějších částic - Stárnutí pracovní kapaliny
Jemné – částice 5 – 15 μm	Opotřebení otěrem převážně u malých tolerancí	<ul style="list-style-type: none"> - Zvýšení vůlí otěrem (zvýšení vnitřních průsaků) - Časový výpadek vlivem krátkodobých sevření pístků nebo netěsnostmi na sedlech ventilů
Hrubé – částice > 20 μm	Porucha hydraulických prvků blokováním správné funkce	<ul style="list-style-type: none"> - Zanášení clon - Sevření pístků - Poruchy materiálu (prvků, těsnění)

Tab. 1 Velikost nečistot a jejich působení na hydraulické prvky. [4]



Obr. 9 relativní velikosti částic a jejich pohyb v kritické vůli prvků. [8]

Pevné nečistoty jsou největší nebezpečí pro hydraulické prvky, menší částice než je kritická vůle mezi částmi hydraulického prvku (obr. 9. c). Procházejí štěrbinou velkou rychlostí a způsobují erozivní opotřebení na hranách šoupátek rozvaděčů, v ostrých ohybech vedení a delším provozem erozi ozubených kol hydrogenerátorů. Pokud narážejí kolmo na povrch prvku, způsobují povrchové deformace. Pokud na povrch působí paralelně. Mají za následek abrazivní opotřebení. Působení takovýchto nečistot je pozvolné a nikdy nepůsobí okamžitou poruchu.

Částice stejné velikosti, jako je velikost kritické vůle jsou nejnebezpečnější (obr. 9. b). Způsobují porušení mazacího filmu a okamžité zadření hydraulického prvku. Dochází k abrazivnímu působení částic. Vzniká nejvíce otěru a nečistot. Tato závada nejde předem indikovat.

Větší částice než je kritická vůle (obr. 9. a) se usazují na vnější straně štěrbin a mohou způsobit jejich ucpání. Tato porucha je signalizována předem a to kolísáním tlaku kapaliny, kavitací hydrogenerátoru a podobně. K poruše nedochází náhle, ale pozvolna. [2]

3 Typy filtrů, jejich materiály a konstrukce

Typů filtrů, filtračních materiálů a konstrukcí je velmi mnoho. Nejčastější použití filtrů v obvodu je jako odpadní filtr, nebo filtry před některým důležitým členem obvodu, například proporčním ventilem.

Filtry můžeme členit jak podle konstrukce a použití, tak podle tlaku (nizkotlaké, středotlaké, vysokotlaké). Dále to může být podle jemnosti filtrace. Velkou roli hraje kapalina, která se bude filtrovat (emulze, olej). Dále pak materiál filtračního elementu, styl jeho vrstvení v elementu, poréznost materiálu a samozřejmě velkým faktorem je účinná plocha filtru. [16]

3.1 Základní členění materiálů:

Filtrační tkaniny:

Materiály filtračních tkanin jsou různé, nejčastěji jsou použita kovová, nebo plastová vlákna (polyester, polyamid) a různého druhu tkaní. Ohled je brán na tloušťku vláken a technologii tkaní je realizována filtrační schopnost do 10 μm . Předností těchto tkanin je pevnost, teplotní odolnost, zpracovatelnost a regenerační schopnosti filtračního materiálu. Vyšší cena těchto materiálů je vyvážena vysokou spolehlivostí a přesným ohraničením stupněm filtrace. Díky regeneraci má i nižší požadavky na nahrazení filtrační vložky. [16]

Spékané (sintrované) materiály:

Jsou vyráběny práškovou metalurgií většinou z Cr-Ni-Mo ocelí, bronzů a mosazí. Touto technologií je filtr vyroben do konečného tvaru (disků, trubek, hrnců). Filtrační schopnost takovýchto filtrů má široký rozsah. U bronzových materiálů od 10 μm a u nerezových ocelí již od hranice 1 μm . Velká variabilita tvarů dává možnost použití ve funkci malých a lokálních filtrů, nebo jako součást větších celků složených např. z jednotlivých disků. Jelikož mají vysokou teplotní odolnost, hodí se pro použití v extrémních teplotách. Při malých tloušťkách stěn mohou být i regenerovatelné. [17]

Rouna:

Jsou vytvářena vrstvami neorientovaných vláken různých materiálů kovových, syntetických a skleněných vláken. Volbou velikosti vlákna, silou vrstvy a rovnoměrným rozložením se dosahuje širokého rozpětí filtrační schopnosti od hrubé, až po nejjemnější

filtraci. U syntetických materiálů může být filtrační vrstva podepřena netkanou, nebo tkanou textilií. U kovových vláken se může materiál zpevnit spékáním. Vzhledem k malé tloušťce jsou brány jako povrchové filtry, které se dají regenerovat. [17]

Papíry:

Jsou nejrozšířenějším filtračním materiálem, i když v náročnějších požadavcích hydrauliky je na ústupu. V mnoha případech jsou však filtrační papíry dotována zpravidla skelnými, popřípadě syntetickými vlákny.

Pevnost a odolnost materiálů proti působení kapalin a vody v kapalině obsažené se zajišťuje impregnací papíru. Nejčastěji se papír impregnuje fenolovými pryskyřicemi, které se po konečném zpracování papíru vytvrzují za zvýšených teplot. Používají se však i jiné typy pryskyřic, jako akrylové pryskyřice, které se nevytvrdí a z hlediska hygieny neobsahují nežádoucí fenoly.

Hlavní přednost filtračních papírů je cena a díky impregnaci i tuhost. Umožňuje tak skládat papír do složitých tvarů jako hvězda. Nevýhodou tohoto materiálu je uvolňování vláken nerovnoměrnost rozložení materiálu a oproti novým materiálům i malá jímavost. [16]

Vývojové trendy:

Vývoj filtračních materiálů je dán požadavky spolehlivosti účinnosti při snižování tlakového spádu, rozměrech a hmotnosti filtračních elementů. Maximální pozornost se věnuje nejenom filtrační schopnosti, ale také jímavosti a průtočnosti. Nové materiály se zaměřují na využití mikro a nano vláken ze syntetických materiálů. Popřípadě vrstvení různých vrstev z vláken o rozdílných tloušťkách. Technologie výroby takovýchto materiálů je velice náročná a výrobci filtrů je používají speciálně pro svou potřebu. [17]

3.2 Materiály

Filtrační materiál	Vytvoření	Oblast použití	Výhody	Nevýhody
Papírová vlákna	Organická vlákna, náhodně naskládána na nosnou vložku	Sací filtr, odpadní filtr, obecně jemný filtr	Nízká cena a malá tlaková ztráta	Střední jímavost nečistot, malé tlaky

Impreg. papírová vlákna	Organická vlákna, náhodně skládána a impregnována fenolovou pryskyřicí	Palivové filtry, obecně jemný filtr	Nízká cena Jednoduchá stavba vložky, velká filtrační plocha	Malá jímavost nečistot, pouze pro malé tlaky
Syntetická vlákna	polyuretanová pěna	Sací filtr, odpadní filtr.	Nízká cena Jednoduchá stavba vložky. Malý tlakový spád.	Pouze větší nečistoty.
Skelná vlákna	Skelná vlákna náhodně naskládána, zpevněna pojivem	Jemný filtr pro prvky s vysokými nároky na filtraci	Použití skelných vláken lze dosáhnout jemné filtrace. Jsou chemicky odolné pro všechny druhy hydraulických kapalin.	Vysoká tlaková ztráta. Pouze malé průtoky.
Kovová vlákna	Náhodně navrstvené nerezové dráty	Jemná filtrace při vysokých teplotách a tlacích.	Velká jímavost nečistot, malá tlaková ztráta	Velmi drahý
Spékané materiály	Slinuté kovové kuličky přičemž velikost kuliček určuje jemnost filtrace	Bezpečnostní filtr	Nízká cena	Pouze malé průtoky, citlivý na pulzace, velká tlaková ztráta.
Nano- materiály	Syntetická vlákna, náhodně naskládána na sebe, nanesena na nosný materiál	Filtrace ve farmaceutickém průmyslu (další použití je testováno)	Velmi jemná filtrace	Drahý materiál

Tab. 2 Materiály používané pro filtrační elementy. [7]

3.3 Konstrukce filtračního elementu

Typ	Obrázek	Výroba	Materiál
Vinutý (svíčkový)		Jednoduchá výroba, nízká cena,	Skelná a syntetická vlákna
Skládaný do hvězdice		Podle konstrukce a použitých materiálů se konstruuje na typ filtrovaného média. Nízká cena, velká filtrační plocha.	Kombinace všech materiálů.
Talířový		Podle konstrukce a použitých materiálů, drahý, málo používaný.	Kombinace vláknenných materiálů. Většinou více různě porézních vrstev.
Rukávcový		Jednoduchá levná výroba	Kombinace vláknenných materiálů. Většinou jeden druh materiálu. (netkaná textilie)
Sítový (kovové tkaniny)		Jednoduchá levná výroba.	Kombinace různých jemností síta.
Sintrovaný (spékaný)		Drahý, ale po vyčištění se dále používá.	Spékané kovy, jako bronz, mosaz.

Tab. 3 Konstrukce filtrů. [13]

3.4 Filtrace povrchem vložky

Najdeme je také pod označením „štěrbinové filtrační prvky“ je to klasický případ povrchové filtrace, kde jsou nečistoty zachycovány na povrchu filtračního prvku pomocí speciálně vytvořených štěrbin. Provedení konstrukce může být různé: skládáním lamel o požadované šířce a filtrační schopnosti, navíjením drátu na konstrukci, která tvoří osнову pro požadované štěrby, či navíjením různě profilovaného drátu na kostru filtru. Tyto filtrační elementy mají jenom hrubou filtrační schopnost (přibližně 100 μm) při poměrně malé ploše. Jejich výhodou je pouze možnost regenerace. V současnosti je použití takových prvků málo běžné. [16]

Druh	Popis	Oblast použití	Výhody	Nevýhody
Spárové pletivo	Různé tloušťky proplétaného drátu. Materiál nerez.	Hrubý bezpečnostní filtr.	Čistitelná filtrační vložka. Malá tlaková ztráta.	Malá průtočná plocha.
Drátěné síto	Čtvercový průřez síta. Použité materiály nerez pozinkovaná ocel bronz.	Bezpečnostní a sací filtry. Pracuje při vysokých tlacích a teplotách	Čistitelná filtrační vložka. Malá tlaková ztráta.	Jemná filtrace není možná. Malá průtočná plocha.
Štěrbinová trubice	Tříhranný drát s různými úhly stoupání. Provedení většinou z nerez.	Hrubý filtr do odpadní větve.	Všechny druhy kapalin. Čistitelná filtrační vložka.	Jemná filtrace není možná.

Tab. 4 Materiály používané pro povrchové filtrační elementy. [7]

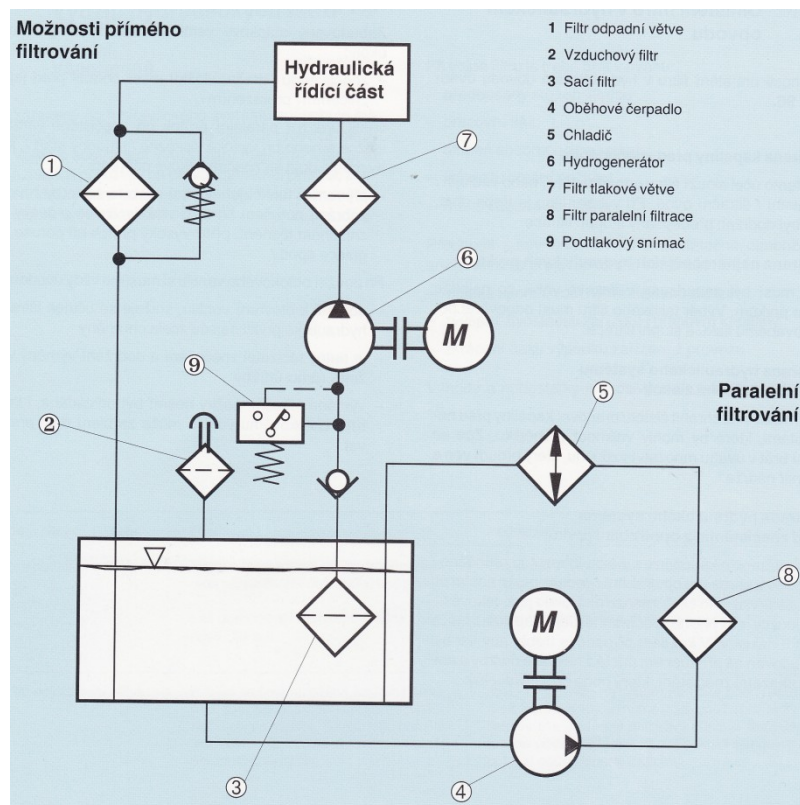
3.5 Rozdělení filtrů v obvodu

Rozhodující je na počátku při návrhu filtru, zda se volí sací, zpětný, nebo tlakový filtr. Případně se řeší samostatný filtrační obvod. Rozhodnutí závisí na následujících hlediscích:

- Jak citlivé jsou komponenty obvodu na nečistoty.
- Jaká je priorita ochrany daného obvodu před opotřebením.

- Způsob a velikost zástavby použité hydrogenerátory, hydromotory, ventily. Předepsaná čistota kapaliny, která je udávána výrobcem u použitých prvků.
- Způsob a místa vzniku nečistot, popřípadě jejich vnikání z okolí do obvodu.

Požadavky na konstrukci filtračního elementu vyplývají z jeho umístění v obvodu. Tyto požadavky ovlivňuje tlaková úroveň, stupeň filtrace a konstrukční prvky. [7]



Obr. 10 Znáznornění umístění filtrů v hydraulickém obvodu. [7]

Sací filtr:

Umisťuje se před hydrogenerátor, jako ochrana před vniknutím velmi hrubých nečistot. Tento typ filtru se většinou připojuje bez pojistného ventilu. Typický je u rozměrnějších hydraulických obvodů a to tam, kde nelze zaručit dokonalou čistotu nádrže před uvedením do provozu. S hledem na potřeby hydrogenerátoru, musí sací filtr zajistit co nejnižší podtlak v sání a zamezit tak kavitaci. Proto je základním požadavkem nízký odpor a proto jsou velmi rozměrné. Filtrační schopnost se pohybuje zpravidla na hodnotě 50 až 125 μm . [16]

Sací filtr nesmí překročit podtlak před hydrogenerátorem přípustnou hodnotu podtlaku (cca 25 kPa) a musí splňovat tyto kritéria:

- Malá tlaková ztráta i při zanesení filtračního elementu s přihlédnutím na zvýšení viskozity při startu.
- Kontrola tlakového spádu signalizací či vakuometrem.
- Sací vedení musí mít minimální odpor. To znamená malou délku, dostatečnou světlost a musí být bez ostrých hran.
- Uvážení odolnosti hydrogenerátoru proti kavitaci.
- Volba kapaliny s vysokým viskozitním indexem a co nejnižší viskozitou.
- Omezení doby po studeném startu, tak aby se dosáhlo dostatečné teploty kapaliny. Například menším objemem nádrže a ohřev kapaliny před startem.

Zpětné filtry:

Umisťují se za spotřebiče, často až na vstup do nádrže. Jejich cílem je zachytit nečistoty vnikajících do soustavy například přímočarým hydromotorem. Zajišťují celkovou čistotu kapaliny v celém obvodu. Dle náročnosti soustavy na čistotu kapaliny je jejich filtrační schopnost až od 1 μm . Tyto filtry jsou řešeny a jmenovité tlaky 1 až 3 MPa. Zpětné filtry by měly být vždy vybaveny pojistnými ventily a signalizací znečištění filtru. U jejich použití je nutno sledovat:

- Zvýšený průtok ve zpětném vedení a to vůči hydrogenerátoru při pohybu přímočarých hydro-motorů a při vyprázdnění akumulátoru.
- Vliv zvýšení tlaku při zapojení hydrogenerátoru a hydro-motoru na zpětné vedení v důsledku zanášení filtračního elementu.
- Vznik nekontrolovaných funkcí některých prvků obvodu. Například pohyb hydro-motoru.

Pokud je filtr umístěn na nádrži. Je nutné zajistit, aby jeho výstup odpovídal požadavkům konstrukce nádrže, jestliže je možnost studeného startu zařízení. Nedoporučuje se filtrační schopnost volit méně, než 30 μm . [16]

Tlakové filtry:

Jejich úkolem je zajištění ochrany drahých částí obvodu před nečistotami. Řadí se buď za hydrogenerátor, nebo před prvky. Musí odolávat maximálnímu tlaku obvodu, včetně jeho častých změnách při plnění funkce. Pro tlakové filtry platí při jejich volbě tato kritéria:

- Zvláště citlivé prvky na nečistoty, nebo ty které jsou důležité pro celkovou funkčnost zařízení. Jako jsou servoventily nebo regulátory průtoku.
- Prvky, které jsou velmi drahé,
- Významné komponenty obvodu a to zvláště z hlediska bezpečnosti (řídící, spínací a brzdné systémy)
- V případech kdy jsou zvláště vysoké náklady při výluce zařízení, způsobeného vyřazením z funkce nebo poškozením prvku.

Jestliže tlakový filtr plní funkci ochrany části průtoku některého prvku, jen před hrubými nečistotami, musí být hydraulický obvod chráněn ještě odpadním filtrem pro zajištění celkové čistoty hydraulické kapaliny, aby byly ochráněny prvky před opotřebením. Tlakové filtry plní bezpečnostní funkci a proto jsou vždy vybaveny signalizací. Pro tyto filtry je doporučena třída čistoty 6 pro normu NAS 1638. To znamená 16/13 pro normu ISO 4406. Tyto filtry jsou zásadně bez použití pojistného ventilu. [17]

Vzduchový (odvzdušňovací) filtr:

Úkolem těchto filtrů je zamezit vstupu nečistot z okolního prostředí, které vstupuje do nádrže. Většinou jsou tyto filtry již v konstrukci zátky. Pokud jsou samostatně, kombinují se s odlučovači vlhkosti a to většinou chemickými odlučovači. Filtrační schopnost těchto filtrů se optimálně pohybuje na hodnotě $\beta_x = 100$. Průtok filtrem je doporučen 5 a 10x vyšší než je průtok hydrogenerátoru. Při čistém filtračním elementu je tlaková ztráta do 1 kPa. [18]

Volba velikosti filtru

Důležitým parametrem je volba a velikost filtru. Často je zvykem vycházet pouze z výrobcem stanoveného jmenovitého průtoku, nebo světlosti. Pro správnou volbu filtru jsou důležité kritéria:

- Dostatečně dlouhé intervaly výměny filtračního elementu. Nejčastěji se uvádí hodnota 1000 pracovních hodin zařízení.
- Tlaková ztráta filtračního elementu i při studených startech musí být pod úroveň pojistného ventilu filtru.

Proto je důležité sledovat jímavost filtračního elementu ve vztahu k okolním nečistotám a zdrojům nečistot v obvodu a pracovní plochu filtru a průtokovou charakteristiku v závislosti na viskozitě kapaliny.

Zatímco průtokovou charakteristiku zpravidla máme k dispozici, jímavost filtračního elementu není vždy udávána. Navíc k jejímu použití jsou nezbytné další údaje, které vycházejí ze zkoušek a rozsáhlého sledování. [4]

V tab. 5 je uveden násobek průtoku filtračním elementem při okolních podmínkách. Uvažujeme, že nejvyšší průtoky budou v nejvíce znečištěných provozech, kde je velká prašnost okolí (stavební stroje). Naopak v provozech s malou prašností bude násobek průtoku filtrační vložkou nižší.

Okolní podmínky				Použití filtru
	Dobré	Střední	Špatné	Rozvětvené soustavy s mnoha přímočarými hydromotory a spotřebiči.
Tlakový filtr	1,5 – 2	3 – 3,5	3,5 – 4	
Zpětný filtr	1 – 1,5	2,5 – 3	3 – 4	
Tlakový filtr	1 – 1,5	2 – 2,5	2,5 – 3	Střední a menší obvody s malým počtem spotřebičů.
Zpětný filtr	1 – 1	1,5 – 2	2 – 2,5	
Tlakový filtr	1 – 1	1 – 1,5	1,5 – 2	Obvody s chráněným hydromotorem nebo prvky obvodu.
Zpětný filtr	1 – 1	1 – 1	1 – 1,5	

Tab. 5 Podmínky pro volbu filtračního elementu. [17]

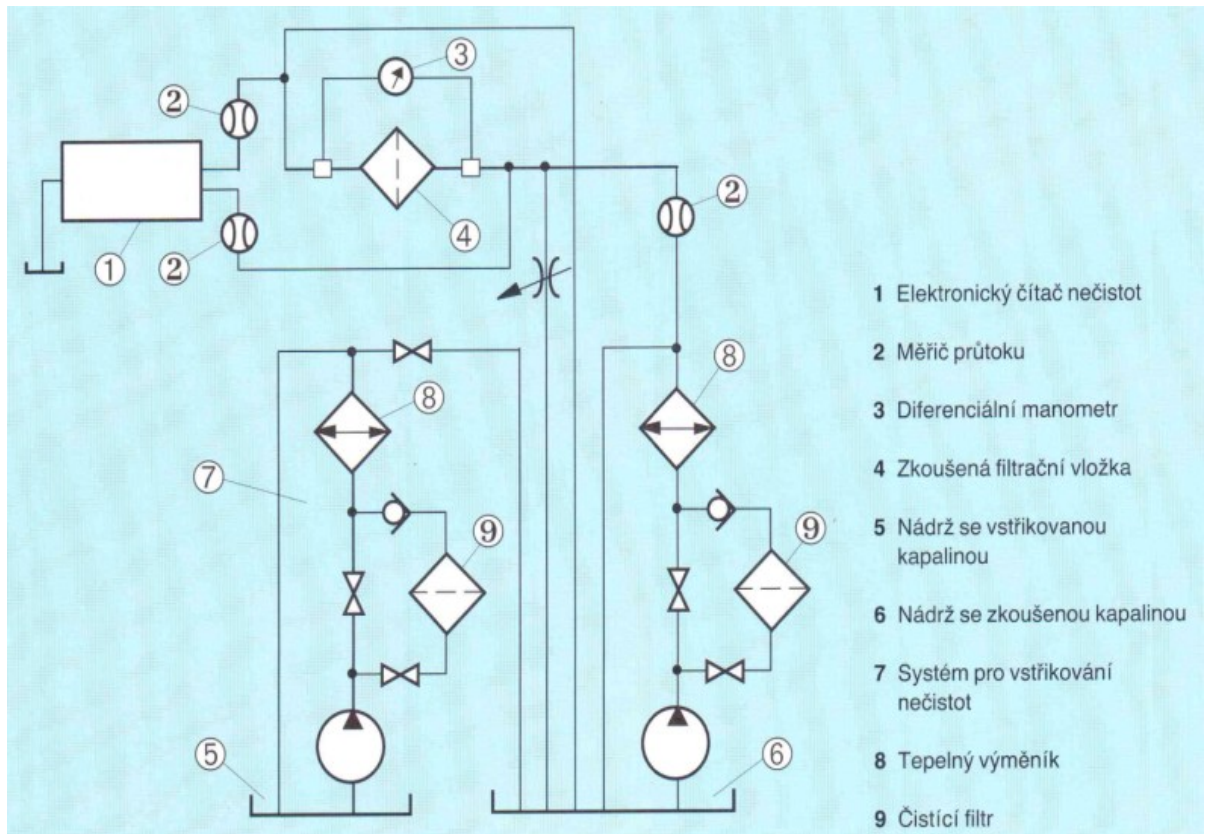
3.6 Multi-pass test

Tento test se využívá pro stanovení filtrační účinnosti běžně používaných filtrů. Je složen ze dvou obvodů, kdy jeden slouží jako testovací obvod a druhý slouží k znečištění testovací kapaliny speciální příměsí znečišťující látky.

Obvod je složen z hydrogenerátoru, nádrže, ohříváče a chladiče, filtru s testovaným filtračním elementem, čítačem částic a průtokoměru.

Složení systému pro vstřikování nečistot je sestaven z nádrže, hydrogenerátoru, ohříváče a chladiče, vstřikované kapaliny a vstřikovací trysky. V nádobě je připravena a předem znečištěna předepsaná testovací kapalina (ACFTD).

Testovanou vložkou protéká konstantní proud kapaliny, do které je přimícháno vstřikovacím zařízením předepsaný objem nečistot. V průběhu testu je odebírána kapalina před a za testovanou filtrační vložkou a vyhodnocuje se na čítači nečistot. Jemnost filtrace je určena srovnávací hodnotou β_x , přičemž označení velikosti nečistot je x . [7]



Obr. 11 Znázornění umístění filtrů v hydraulickém obvodu. [7]

3.7 Popis by-pass filtrace

Někdy je také označována jako „paralelní filtrace“. Zajišťuje v obvodu samostatnou, na hydraulickém obvodu nezávislou, filtraci. Tato větev je většinou složena z elektromotoru, hydrogenerátoru, filtrační nádoby a filtračního elementu. Často je v tomto obvodu zařazen ještě chladič a ohřev hydraulické kapaliny. Popřípadě u mobilních strojů, nebo jiných zařízení je členěn filtr do tlakové větve s přepouštěcím ventilem.



Obr. 12 Ukázka zapojené by-pass filtru s přepouštěcím ventilem. [18]

4 Popis norem NAS 1638, ISO 4406

Kód čistoty hydraulické kapaliny

Toto měření není určeno ke zjištění materiálu nečistot, ale dává nám údaje o velikosti a počtu nečistot, které dále posuzujeme dle námi zvolené normy. V dnešní době slouží k zjišťování kódu čistoty, především laserové čítače nečistot od různých společností. Ve dřívějších dobách se kód čistoty určoval optickou mikroskopií.

ISO 4406

Kvalifikačních systémů pro pracovní kapaliny existuje mnoho, ale nejpoužívanější norma u nás je ISO 4406 (podle české národní normy je to ČSN 656206) popřípadě americká norma NAS 1638.

U starší normy ISO 4406:1989 se znečištění kapaliny vyjadřuje dvěma čísly oddělenými lomítkem, kdy první číslice udává množství částic větších než 5 μm a následující větší než 15 μm na 100 ml kapaliny. Vyhodnocení tak může vypadat následovně 16/13. Nová norma ISO 4406:1999 udává tři číslice odděleny lomítkem a to pro velikosti nečistot od 4 μm , 6 μm a 14 μm . Opět jsou nečistoty posuzovány ve 100 ml kapaliny a následné vyhodnocení může vypadat takto 24/18/15.

NAS 1638

Udává znečištění kapaliny v třídách od 00 do 12 ve 100 ml kapaliny a to v rozmezí podle velikosti částic znečištění (například 5 - 15 μm , 15 - 25 μm atd.). Po vyhodnocení a rozdělení nečistot do velikostních tříd (u laserových čítačů rozlišujeme velikosti dle ekvivalentní kruhové oblasti). Dle normy NAS 1638 se po vyhodnocení a roztřídění vybere nejvyšší znečištění v daných rozmezích a udává se jako čistota daného oleje.

Nevýhoda normy NAS 1638 spočívá v nejednoznačnosti, jaká velikost nečistot se označuje jako celkové vyhodnocení. Na rozdíl od normy ISO 4406, kde se udává znečištění předepsaných velikostí nečistot. Na druhou stranu je pro techniky jednodušší při vyhodnocování. [7]

SAE 749 D

Tato norma se téměř nepoužívá. Z důvodu malého počtu stupňů znečistění, a to od 9 částic/cm³ do 580 částic/cm³.

MIL STD 1246 A

Tato norma se nepoužívá jen ve zvláštních případech. Pro průmysl nemá praktický význam. Z důvodu pouze 3 hodnotících tříd. [7]

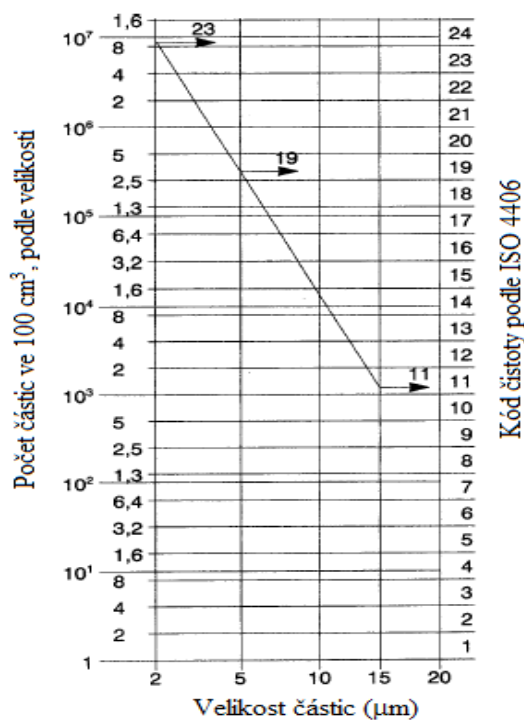
4.1 Určení kódu čistoty

ISO DIS 4406	částice >10 μm v 1 cm ³	MIL STD 1246 A	NAS 1638	SAE 749 D
20/17	2300		11	
20/16	1400			
19/16	1200		10	
18/15	580		9	6
17/14	280	300	8	5
16/13	140		7	4
15/12	70		6	3
14/12	40	200		
14/11	25		5	2
13/10	14		4	1
12/9	9		3	0
18/8	5		2	
10/8	3	100		

Tab. 6 Třídy čistoty a srovnání dle různých klasifikací. [6]

	2-5 μm	5-15 μm	15-25 μm	25-50 μm	50-100 μm	>100 μm
00	625	125	22	4	1	0
0	1250	250	44	8	2	0
1	2500	500	89	16	3	1
2	5000	1000	178	32	6	1
3	10000	2000	356	63	11	2
4	20000	4000	712	126	22	4
5	40000	8000	1425	253	45	8
6	80000	16000	2850	506	90	16
7	160000	32000	5700	1012	180	32
8	320000	64000	11400	2025	360	64
9	640000	128000	22800	4050	720	128
10	1280000	256000	45600	8100	1440	256
11	2560000	512000	91200	16200	2880	512
12	5120000	1024000	182400	32400	5760	1024

Tab. 7 Klasifikace třídy čistoty podle NAS 1638 Maximální počet částic, ve 100 cm³ kapaliny. [6]



Obr. 13 Klasifikace třídy čistoty podle ISO 4406. [6]

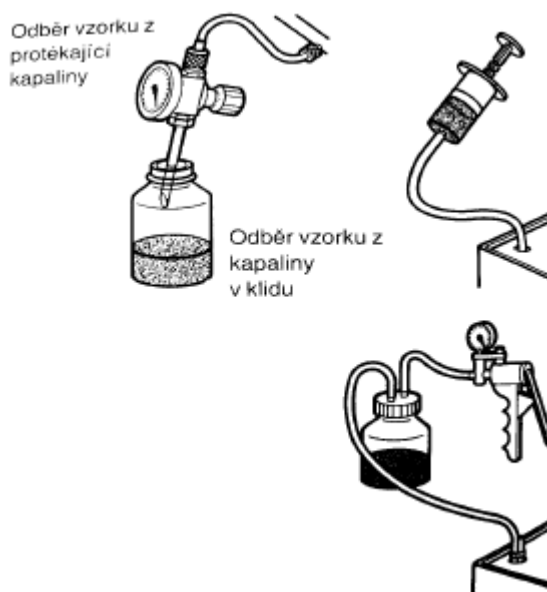
Zásady odběr vzorku

Při analýze kapaliny, která je odebrána ze systému se určuje její znečištění a zavodnění. Pomocí této analýzy určujeme faktory:

- Účinek filtračního elementu.
- Dobu proplachování při uvedení zařízení do provozu.
- Lze určit přibližnou dobu životnosti stroje porovnáním výsledků analýz.
- Počet a velikost částic, které kapalina obsahuje.

Druh odběru:

- Statická zkouška – odběr kapaliny při vypnutém stroji (z nádrže)
- Dynamická zkouška – odběr vzorku z proudu kapaliny (odtok do nádrže)
- Odběr vzorku z místa s turbulentním prouděním.



Obr. 14 Příklady odběru vzorku kapaliny. [7]

Provedení odběru:

- Odběrové zařízení musí být v čistém stavu.
- Čistá vzorkovnice.
- Vzorkovnice nesmí být znečištěná předchozím vzorkem. Pokud je znečištěna, musí se propláchnout čistící kapalinou, odmastit a zbavit všech nečistot.

- Zařízení pro odběr musí být při odběru kapaliny propláchnuto alespoň 2 dm³ odběrné kapaliny a poté může být odebrán skutečný vzorek.
- Nulová zkouška – posuzuje pouze počáteční znečištění a to opticky.
- Odběr z nádrže se provádí vždy v 1/3 výšky sloupce kapaliny v nádrži vzhledem ke dnu nádrže.

Vyhodnocení zkoušky:

V dnešní době se pro vyhodnocování zkoušek používá převážně čítačů nečistot a to světelné, nebo laserové, které jsou častější a přesnější. Výsledky poskytnuté čítači částic jsou jasné a poskytované v námi zvolené normě (NAS 1638 nebo ISO 4406 a to buď dle starého znění normy, nebo nového znění). Pokud pracoviště nemá k dispozici čítač, užívají se kontrolní monitory (etalony čistoty). Tyto etalony jsou snímky různorodě znečištěného filtračního papíru (o jemnosti filtrace 0,8 nebo 0,45 μm), ke kterému je přiřazeno číslo znečištění dle norem NAS nebo ISO. Takovéto určení znečištění je jen orientační a nemusí se shodovat s výsledky čítačů částic. Proto je nejvhodnější laboratorní test provedený odborníkem. [7]

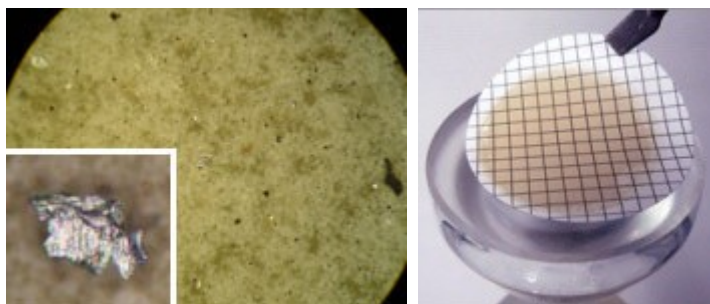
4.2 Postupy zjištění kódu čistoty

Optická mikroskopie (ISO 4407):

Na membráně mikrofilmu jsou počítány nečistoty „manuálně“ pomocí mikroskopu. Mikrofiltr je rozdělen rastrem na políčka čtvercového tvaru. Mohlo by se zdát, že tato metoda je již překonána, jelikož je zdoluhavá a nepohodlná, a i přesto se stále používá a je považována za nejpresnější metodu počítání částic nečistot, jelikož nemá omezení moderních automatických metod. Tam se může stát, že jako nečistoty jsou počítány i vzduchové bubliny. Bohužel je tato metoda zdoluhavá a klade velké nároky na proškolení laboratorního technika, který provádí optickou mikroskopii.

Membrána mikrofiltračního materiálu je schopná odfiltrovat všechny nečistoty od velikosti 0,8 μm popřípadě 0,45 μm. Kapalina odměřená v odměrném válci (většinou 100ml) je pomocí vakuové pumpy přefiltrována přes membránu filtru. Poté je membrána zafixována technickým benzínem a sejmuta z pórovité nálevky. Vysouší se při teplotě 105 °C. Takto upravená membrána je vložena pod mikroskop. Dle normy je určena plocha, kde jsou spočteny a rozřazeny nečistoty dle velikosti. Následně jsou použity statistické metody

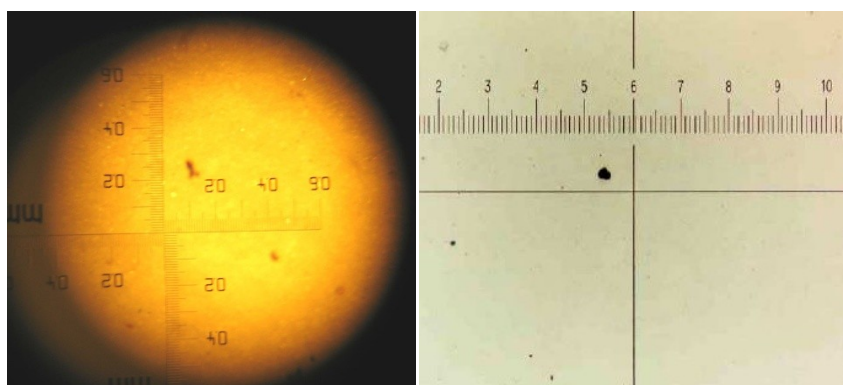
pro určení kódu čistoty kapaliny. Je možné též použít etalonů, které jsou přiloženy u mikroskopu. [11]



Obr. 15 Přiblížení ostrohranné nečistoty a ukázka filtrační membrány. [11]



Obr. 16 Odběrná sada pro analýzu optickou mikroskopií. [11]



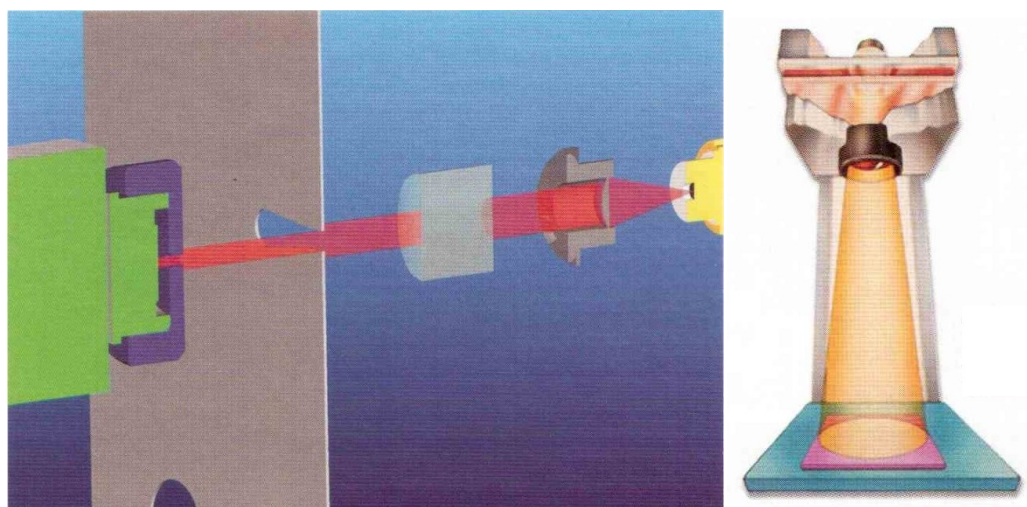
Obr. 17 Pohled pod mikroskopem na filtrační disk a jeho porovnání s fotografií etalonu.[11]

Automatický čítač částic (ISO 115007):

Jako nejpoužívanější principy jsou přístroje s bílým světlem a laserové přístroje.

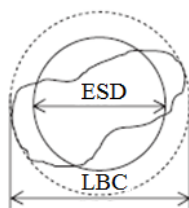
Přístroje s bílým světlem pracují na principu, že procházející částice zastiňují senzor a ten podle velikosti dopadajícího světla vyhodnocuje počet a velikost nečistot.

Laserový přístroj pracuje na principu rozptýlení laserového paprsku. Tyto přístroje jsou považovány za daleko citlivější a přesnější než přístroje s bílým světlem. Problémy automatického čítače částic spočívají ve vyhodnocení částic, které mají velmi rozdílné rozměry (například 7 μm na délku a 40 μm na šířku), a proto byl změněn systém hodnocení čistoty kapalin. Jako kompromis řešící tuto problematiku byl přijat počítaný rozměr částic, takzvaný „ekvivalentní průměr kulové částice“ (Equivalent Spherical Diameter) Avšak ani zavedení tohoto kompromisu neodstranilo některé falešné odezvy způsobené překrytím částic v kapalině, nebo počítání vzduchu a vločkových přísad. Proto se velmi striktně dodržují postupy měření s automatickým čítačem částic. [6]



Obr 18 Princip funkce laserů (vlevo) a prosvěcování bílým světlem. [17]

Ekvivalentní kruhová plocha je oprava, kterou řídí program daného čítače částic. Je řízena jak specifickou velikostí částice, tak i její světelná propustnost.



Obr 19 Princip přepočtu čítače částic na ekvivalentní kruhovou plochu. [11]

*ESD (Equivalent Spherical Diameter) – průměr kruhu o stejné ploše jako má částice,
LBC (Least Bounding Circle) – průměr nejmenší opsané kružnice,*

„Blokace pórů" (BS 3406):

Testovaná kapalina prochází sítí (membránami) s definovanou velikostí pórů, nejčastěji 10 μm . Existují zde dva principy měření.

Přístroj měří pokles průtoku v důsledku zanášení membrány a za konstantního tlaku. Póry jsou zanášeny částicemi většími než 10 μm a poté po určitém stupni ucpání póru, jsou zachyceny i menší nečistoty než 10 μm .

U druhého případu měření se měří zvyšující se tlakový rozdíl na membráně, zatímco průtok zůstává konstantní. V obou případech se následně používá program, který z časových závislostí poklesu průtoku, nebo zvýšení tlaku vyhodnotí kód čistoty dle normy ISO 4406. Tyto přístroje pro měření nemají problémy se vzduchem ani vodou, které mohou být obsaženy v kapalině a ani s příliš tmavými kapalinami. Jejich nevýhoda spočívá v přesnosti programu, který vyhodnocuje kód čistoty kapaliny. Jelikož velikost částic je odhadovaná na základě empirického výpočtu. Výhoda tohoto testu ale spočívá v naší informovanosti o celkové koncentraci částic v kapalině. [2]

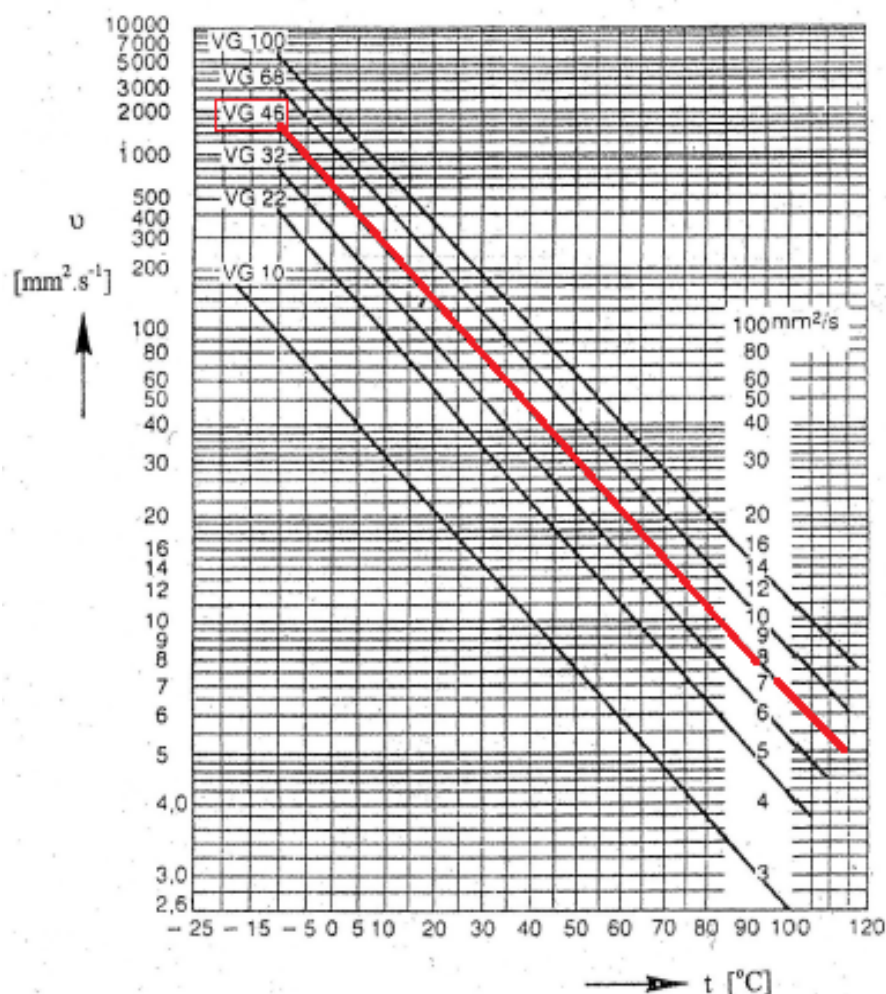
5 Volba kapaliny pro test

Volba hydraulické kapaliny

Pro účely testu filtrace je zvolen olej OH-HM 46, jelikož dle informací poskytnutých firmou Filtration Technology s.r.o., se jedná o hydraulickou kapalinu, která je nejčastěji filtrovanou a používanou kapalinou. Pro každý test bylo vyčleněno 100 l oleje.

Specifikace kapaliny

Pracovní kapalina je určena pro přenos tlakové energie v hydrostatických mechanismech a to včetně vysokotlakých zařízení. Je určena pro celoroční práci stroje. Tato hydraulická kapalina je vyrobena z hluboce rafinovaného ropného oleje a díky přísadám má vynikající antioxidační, antikorozi a protiotěrové vlastnosti. Tato kapalina je vhodná tam, kde jsou vysoké teplotní nároky. Kinematická viskozita oleje při $t = 40\text{ °C}$ je $\nu = 47\text{ mm}^2/\text{s}$ a při $t = 100\text{ °C}$ je $\nu = 6,8\text{ mm}^2/\text{s}$. Hustota oleje při 15 °C je 878 kg/m^3 . [4]



Obr. 19 Viskozitní křivka zvoleného minerálního oleje. [1]

Výchozí znečištění testovací kapaliny

Pomocí laserového čítače bylo určeno počáteční znečištění hydraulické kapaliny. Pro normu NAS 1638 byla třída znečištění stanovena na hodnotu 12 a pro nečistoty 5 - 15 μm . Pro normu ISO 4406 byla určena třída znečištění 21/17.

Čistota oleje vzhledem k nebezpečí poškození zařízení

Při filtrování hydraulické kapaliny je velmi důležité stanovit bezpečnou třídu znečištění pracovní kapaliny. Jestliže by tato bezpečná hodnota nebyla určena, může se stát, že hydraulický obvod nebude správně vykonávat stanovenou činnost, nebo bude docházet k častým poruchám.

Třída čistoty dle ISO	Počet částic ve 100ml				Třída čistoty dle NAS	
	Velikost > 5 μm		Velikost > 15 μm			
	od	do	od	do		
10/07	500	1000	64	130	2	B
11/08	1000	2000	130	250	3	E
12/09	2000	4000	250	500	4	Z
13/08	4000	8000	130	250		P
13/10	4000	8000	500	1000	5	E
14/09	8000	16000	250	500		Č
14/11	8000	16000	1000	2000	6	N
15/09	16000	32000	250	500		Á
15/12	16000	32000	2000	4000	7	
16/12	32000	64000	2000	4000		
16/14	32000	64000	8000	16000	8	
17/12	64000	130000	2000	4000		
17/14	64000	130000	8000	16000	9	
18/12	130000	250000	2000	4000		N
18/15	130000	250000	16000	32000	10	E
19/14	250000	500000	8000	16000		B
19/17	250000	500000	64000	130000	11	E
20/15	500000	1000000	16000	32000		Z
20/17	500000	1000000	64000	130000	12	P
21/17	1000000	2000000	64000	130000		E
21/19	1000000	2000000	250000	500000		Č
22/17	2000000	4000000	64000	130000		N
22/19	2000000	4000000	250000	500000		Á

Obr. 20 Tabulka bezpečného a nebezpečného znečištění. [12]

6 Test nanomateriálů

Pomocí sady na zjišťování kódu čistoty byly měřeny vzorky filtračních tkanin obohacené o nanomateriálovou vrstvu. Tyto filtrační materiály firma Nanovia testovala na čištění vzduchu. Testování, nebo použití při filtraci hydraulických kapalin firma neprováděla.

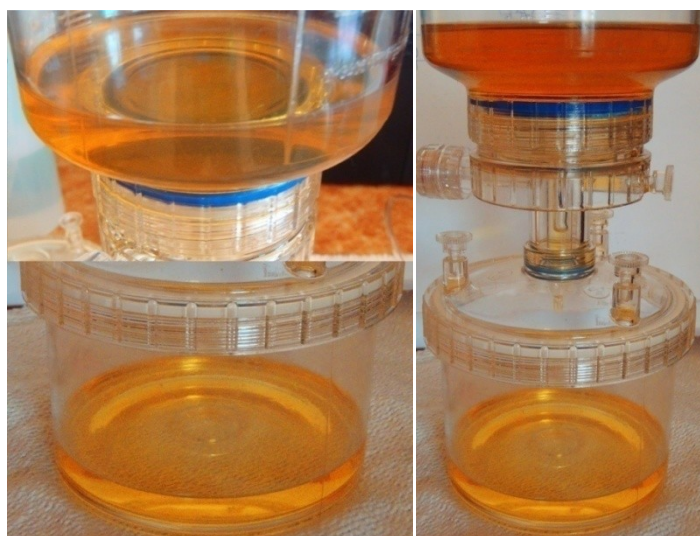
Jako testovací kapalinu jsem použil hydraulický olej OH-HM 46 znečištěný na třídu 12 dle NAS 1638 a pro normu ISO 4406 třídou 22/19.

Bylo testováno 100 ml oleje na filtrační plochu 9,25 cm² a dále pak vyhodnoceno čítačem PARKER CM20.2021.

Průběh měření:

Filtrační materiál obohacený o nanomateriálovou vrstvu byl vystřižen do podoby testovacích vzorků kruhového průřezu a umístěn do testovací soustavy. Pomocí stupnice na vrchní nádobce jsem dávkoval znečištěnou hydraulickou kapalinu (v množství 100 ml). Po připojení vakuové pumpy jsem ze spodní nádoby odsál vzduch a nechal kapalinu protéct filtračním materiálem. Doba protečení se pohybovala cca 2-5 minut v závislosti na druhu materiálu.

Takto profiltrovaný vzorek byl změřen čítačem částic PARKER a pro snadnější určování kódu čistoty. Jako hodnotící parametrem byla zvolena velikost nečistot 15 až 25 μm.



Obr. 21 Ukázka průběhu testu.

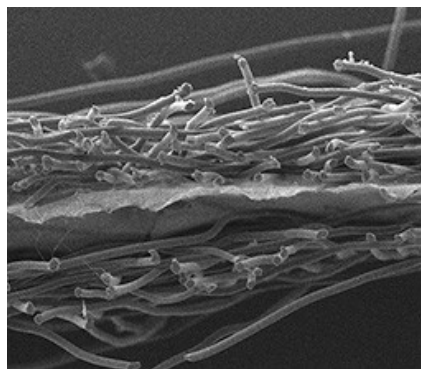
6.1 Popis použitých měřidel a zařízení

Byla použita sada pro analýzu optickou mikroskopií s použitím mikrofilmu $0,8\text{ }\mu\text{m}$, do které byly vystřiženy testovací vzorky kruhové stříhu o zkušební ploše $9,25\text{ cm}^2$.

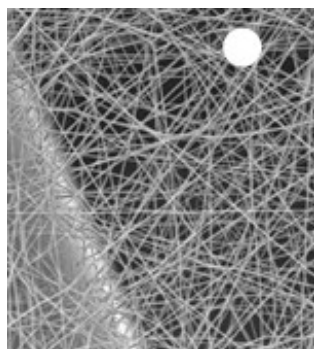
Laserový čítač nečistot od firmy PARKER označení LM-20.2021 pro kontrolu přefiltrované kapaliny.

6.2 Použité nanofiltrační materiály

Tyto materiály jsou dostupné u firmy NANOVIA s.r.o. jedná se vždy o netkané textilie (rouna) firmou označena jako spunbond, nebo celulózové listy, které jsou obohaceny nanovlákenou vrstvou.

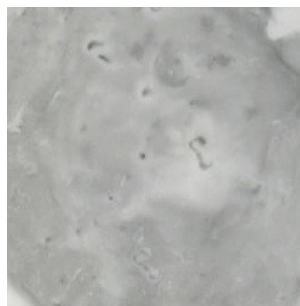


Obr. 22 Sendvič materiálu H11 spunbond – nanovláknenná vrstva – spunbond(netkaná textilie). [24]



Obr. 23 Detail nanovláknenné vrstvy s naznačením velikosti nečistoty $1,5\mu\text{m}$. [24]

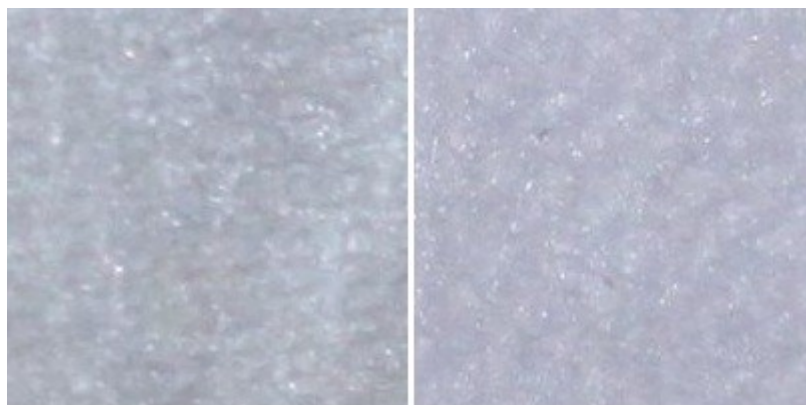
Mikro-filtr 0,8 µm



Obr. 24 Detail mikro-filtru po protečení 100 ml testovací kapaliny o hodnotě znečištění podle normy NAS 1638 třídy 12.

Takto byla znečištěna hydraulická kapaliny při kontrole etalonovým filtrem o jemnosti filtrace 0,8 µm. Tato zkouška se v praxi provádí zcela normálně a je vyhodnocována technikem pro údržbu. Buď pohledově, nebo mikroskopicky.

Materiál NW 70



Obr. 25 Porovnání detailu filtračního materiálu NW 70, po testu (vlevo) a před testem.

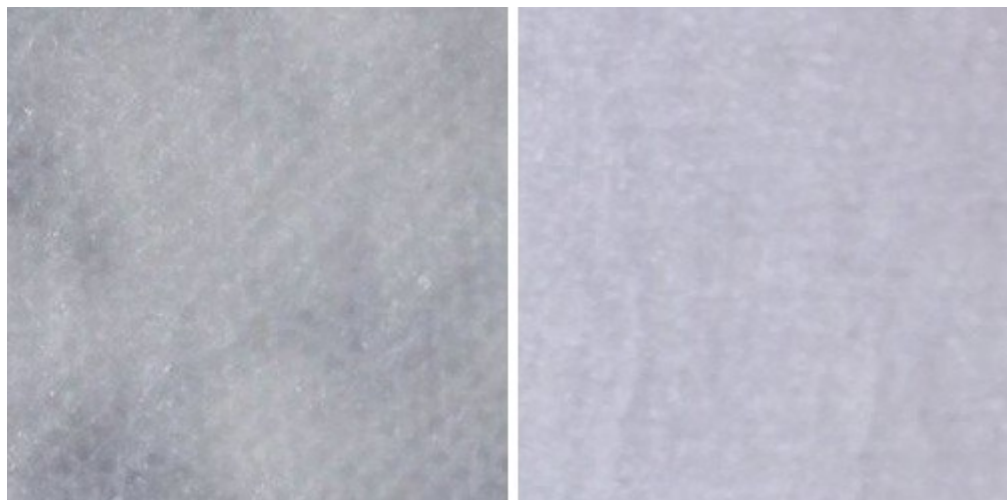
Průběh testu u toho materiálu byl rychlý, ale bohužel nezachytil příliš mnoho nečistot. Proto není velký rozdíl mezi materiálem před a po testu. I když je vidět poměrně velký odstup ve zlepšení čistoty kapaliny po průtoku 100 ml kapaliny (viz. Tab. 8 str. 43). Tento materiál je spíše používán pro filtraci vzduchu.

Specifikace materiálu:

- Svrchní vrstvy polypropylenová netkaná textilie (spunbond PP SB, plošné hmotnosti 35g/m²)

- Prostřední vrstva je složena z nanovláken (polyamid PA-6, plošné hmotnosti $0,1\text{g/m}^2$)

Materiál H11



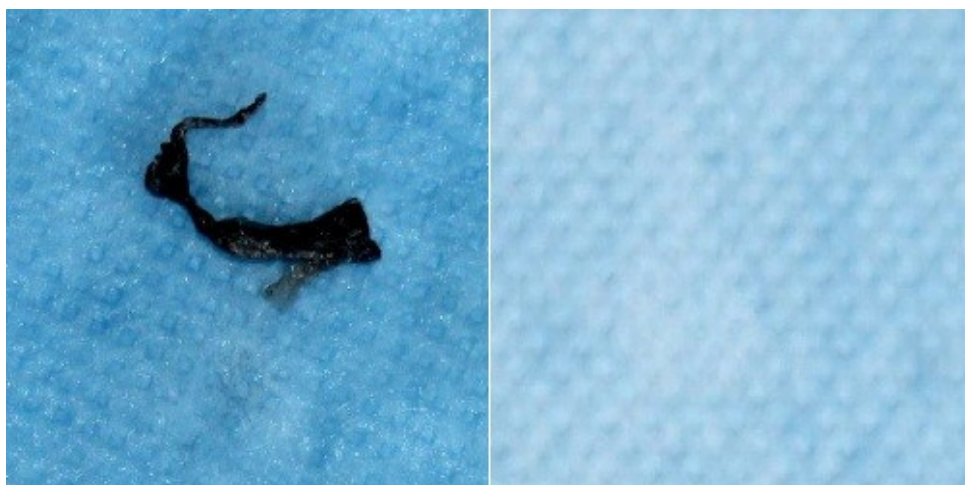
Obr. 26 Porovnání detailu filtračního materiálu H11, po testu (vlevo) a před testem (vpravo).

Tento materiál při testu vykazoval v průběhu testu vyšší odpor proti průtoku a také lepší výslednou čistotu kapaliny (viz. Tab. 8 str. 43). Je složen ze tří druhů tkanin.

Specifikace materiálu:

- Svrchní vrstva je z polypropylenové netkané textilie (spunbond PP SB plošné hmotnosti 37g/m^2)
- Prostřední vrstva je složena z nanovláken (polyamid PA-6 plošné hmotnosti $0,2\text{g/m}^2$)
- Spodní vrstva je z polypropylenové netkané textilie (spunbond PP SB plošné hmotnosti 20g/m^2)

Materiál PP/NFPA6



Obr. 27 Porovnání detailu filtračního materiálu PP/NFPA6, po testu (vlevo) a před testem (vpravo).

Při testování tohoto materiálu vyvstal problém. Jelikož na nanomateriálové vrstvě není žádná krycí tkanina, tak se s tímto materiálem velmi těžce pracovalo, protože nanomateriál se po doteku lepil a odtrhával od základového materiálu. Test byl udělán tak, aby kapalina musela nejprve protéct přes nanomateriálovou vrstvu. Výsledek byl srovnatelný s materiálem H11. Čistota kapaliny podle normy NAS klesla o 4 třídy při jednom průtoku.

Na obr. 27 (vlevo) je nanomateriálová vrstva již srolovaná a v důsledku špatného oddělování od měřicí nádoby. Na obrázku vpravo je vidět nanomateriálová vrstva jako bledé zabarvení.

Specifikace materiálu:

- Horní vrstva je složena z nanovláken (polyamid PA-6 plošné hmotnosti $0,1\text{g/m}^2$)
- Spodní vrstva je z polypropylenové netkané textilie (spunbond PP SB plošné hmotnosti 20g/m^2)

Materiál Cellulose/NFPA6



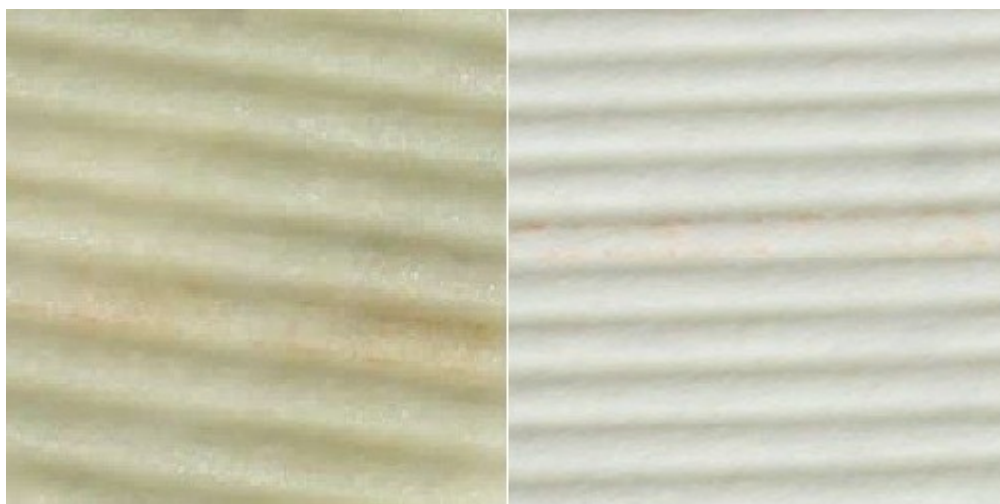
Obr. 28 Porovnání detailu filtračního materiálu Cellulose/NFPA6, po testu (vlevo) a před testem (vpravo).

Tento materiál vyšel z testů jako naprosto nejlepší. Dokázal na jedno protečení stáhnout třídu nečistoty normy NAS 1638 z 12 na 6 ve 100ml kapaliny. Je složen z celulózy (papíru) na které je nanесena vrstva nanomateriálu. Protečení kapaliny testovaným materiálem bylo rychlé. Fotky (obr. 21 str. 36) jsou z testu tohoto materiálu.

Specifikace materiálu:

- Horní vrstva je složena z nanovláken a je přilepena ke spodní vrstvě 30% lepidlem 417 E (polyamid PA-6, plošné hmotnosti $0,1\text{g/m}^2$)
- Spodní vrstva je z celulózového filtračního papíru (specifika tohoto materiálu nejsou dostupná)

Materiál Cellulose1/NFPA6



Obr. 29 Porovnání detailu filtračního materiálu Cellulose1/NFPA6, po testu (vlevo) a před testem (vpravo).

Tento materiál je zvlněný pro dosažení větší plochy při filtraci. Je složen stejně jako předchozí materiál (Cellulose/NFPA6). Bohužel kvůli zvlnění se tento materiál nedal testovat, jelikož v testovacím prostoru z důvodu zvlnění vznikly mezery a tetovací kapalina jimi protékla. Proto tento test vyšel velmi špatně. (viz. Tab. 8 str. 43).

Specifikace materiálu:

- Horní vrstva je složena z nanovláken a je přilepena ke spodní vrstvě 30% lepidlem 417 E (polyamid PA-6 plošné hmotnosti $0,1\text{g/m}^2$)
- Spodní vrstva je z celulózového filtračního papíru.

Zhodnocení nanomateriálů

Na žádost firmy Filtration Technology s.r.o., jsem otestoval nanomateriály od firmy NANOVIA s.r.o. Z těchto testů je patrné, že jsou tyto materiály velmi vhodné pro další použití, při návrhu nových filtračních elementů. Především se jedná o materiály Cellulose/NFPA6 a materiál H11. Jelikož jsou tyto filtrační materiály poměrně drahé, budou se stávající filtrační elementy dotovat několika přístřihy těchto nanomateriálů a to na výstupu z filtrační nádoby.

Název materiálu	NAS 1638	ISO 4406
Testovaný olej	12	22/19
Mikro-filtr 0,8 µm	2	10/07
NW 70	10	18/15
H11	8	17/14
PP/NFPA6	8	17/14
<u>Cellulose/NFPA6</u>	<u>6</u>	<u>15/12</u>
*Cellulose1/NFPA6	11	19/17

Tab. 8 Srovnání filtrační schopností nanomateriálů, dle norem NAS 1638 a ISO 4406

*U tohoto materiálu je test neprůkazný vzhledem ke konstrukci materiálu (vlnkový profil materiálu).

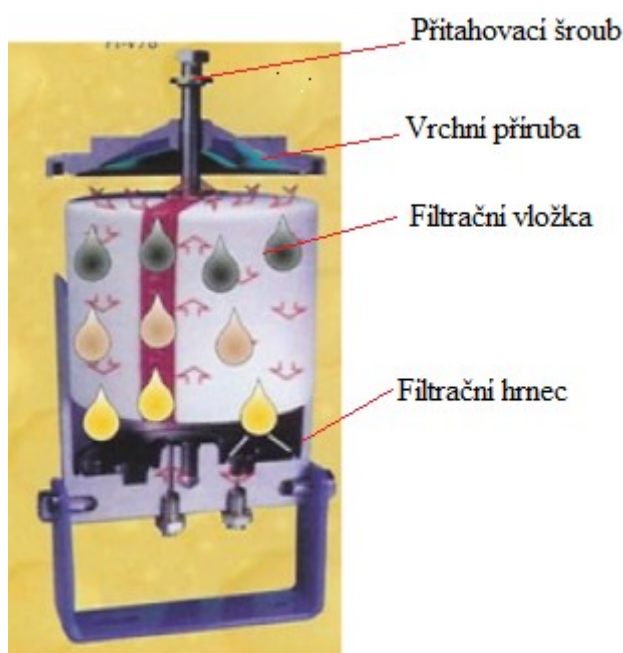
7 Návrh filtračního zařízení

7.1 Popis testovacího zařízení

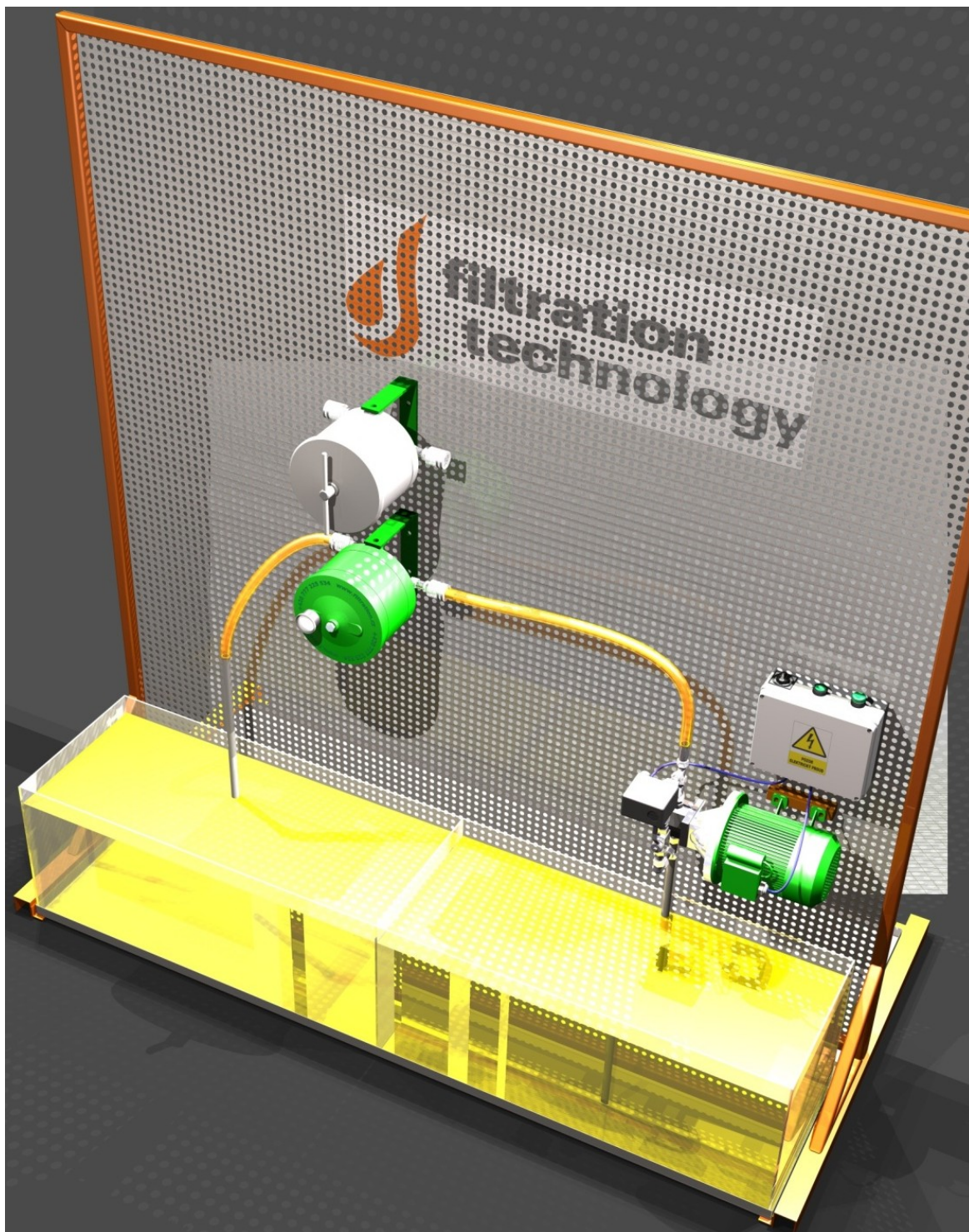
Zařízení je navrženo na testování filtračních elementů a slouží k hloubkové filtraci. Je složeno z hydrogenerátoru, elektromotoru, filtračního hrnce a dalších komponent. Jako ovládací prvek pro nastavení tlaku před filtračním elementem slouží kulový ventil. Jako signalizace nastaveného tlaku složí v obvodu manometr, který je umístěn před filtračním elementem. Ochranným prvkem v obvodu je tlakové čidlo, které je nastaveno na maximální tlak 0,5 MPa. Po překročení tohoto tlaku se automaticky odpojí přívod elektrické energie. Zařízení přestane pracovat a musí se opětovně zapnout. Toto bezpečnostní zařízení je jediná, ale nejdůležitější ochrana obvodu a slouží k ochraně protržení filtračního elementu.

Pro test byl použit hydraulický olej OH-HM 46 blíže popsany v kapitole 5. Pro každý test bylo připraveno 100 l tohoto oleje.

Průtok filtračním hrcem je cca $1,5$ až $4,5 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ (zjištěno odměrným válce při výtoku z testovacího zařízení). Průtok se mění z důvodů zkoušení nových druhů zapojení. Filtrační element není navržen pro odpadní potrubí, ale je specificky navržen pro tuto přídatnou filtraci.



Obr. 30 Řez filtrační nádobu FT- B88.[12]



Obr. 31 Testovací zařízení se zatěsněným a nezatěsněným elementem.

Specifikace	Typ	Výrobce	Hlavní parametry
Filtr	FT-B88	Filtration Technology	
Motor	IMB35 1LF7083 – 4AA6	SIEMENS	Otáčky $n = 1405 \text{ min}^{-1}$ Výkon $P = 0,75 \text{ kW}$
Hydrogenerátor	1P D 5 GAS	HYDROMA	Průtok $Q_v = 4,8 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$
Manometr	G27-10-M5-X201	SMC	Tlak 0 - 1 MPa
Tlakové čidlo	TELEMECANIQUE XMPA12B2131	OTHERS	Max. tlak 0,8 MPa
Kulový ventil	KH-BSPP(S)	PARKER	

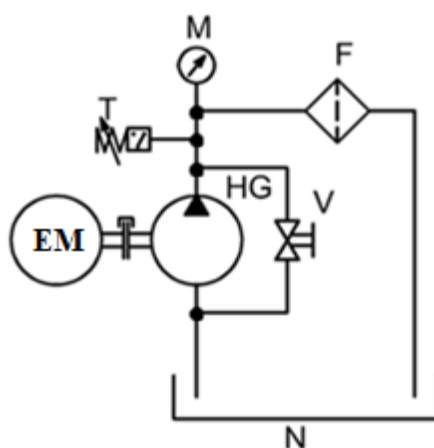
Tab. 9 Specifikace testovacího zařízení.

7.2 Filtrace oleje při aplikaci filtru bez zatěsnění

Průběh testu

Toto zařízení je firmou běžně používáno na nádrže do 150 litrů pro by-pass filtraci. K testování bylo vyčleněno 100 l znečištěné hydraulické kapaliny (viz. kapitola 5).

Pro nastavení vstupního tlaku (nastaven na $p = 2,5 \text{ bar}$) na filtrační element je použit kulový ventil V. Jako ochrana filtračního elementu je použito tlakové čidlo T, které je nastaveno na maximální tlak 5 bar.



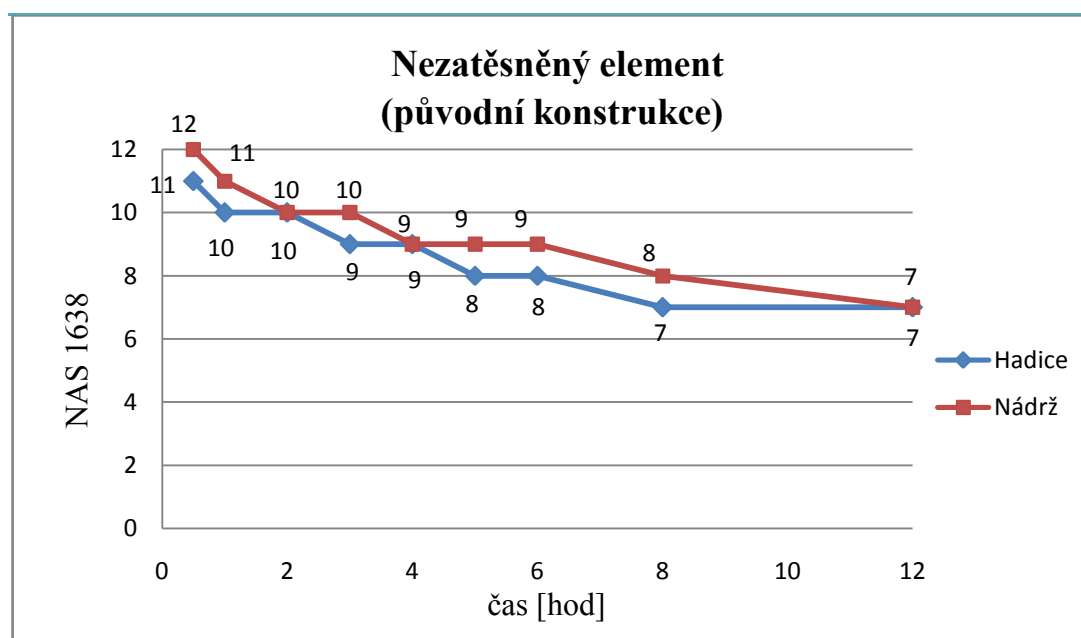
Obr. 32 Původní schéma filtračního zařízení.

EM – Elektromotor, HG – Hydrogenerátor, V – Kulový ventil, T – Tlakové čidlo,

M – Manometr, F - Filtr

Nezatěsněný element		
Čas (hod)	Čistota oleje NAS 1638 (hadice)	Čistota oleje NAS 1638 (nádrž)
0,5	11	12
1	10	11
2	10	10
3	9	10
4	9	9
5	8	9
6	8	9
8	7	8
12	7	7
Tlak na vstupu do filtru 2,5 baru průtok 3 l/min (měřeno na výstupu z hadice).		

Tab. 10 Průběh testu u nezatěsněného elementu.



Obr. 33 Průběh testu u nezatěsněného elementu.

7.3 Filtrace oleje při aplikaci filtru se zatěsněním

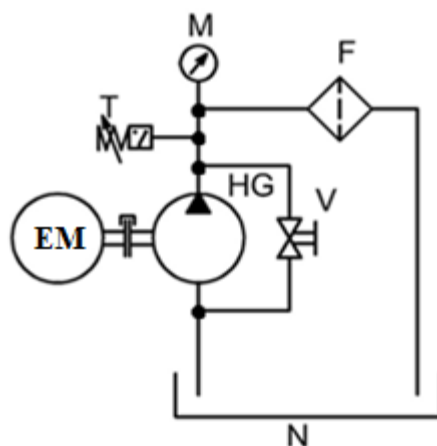
Průběh testu

Toto zařízení je naprosto totožné, stejně jako původní obvod. Jediná změna je zde v pozměněné konstrukci filtrační nádoby, kdy byly přidány těsnící hrany nádoby. Jak na okraje nádoby, tak na trn ve středu filtrační nádoby (viz obr. 30). Jako materiál tohoto těsnění byla zvolena tvrdá pryž. V budoucnu to bude přímo materiál nádoby.



Obr. 34 Rozřezaný filtrační element.

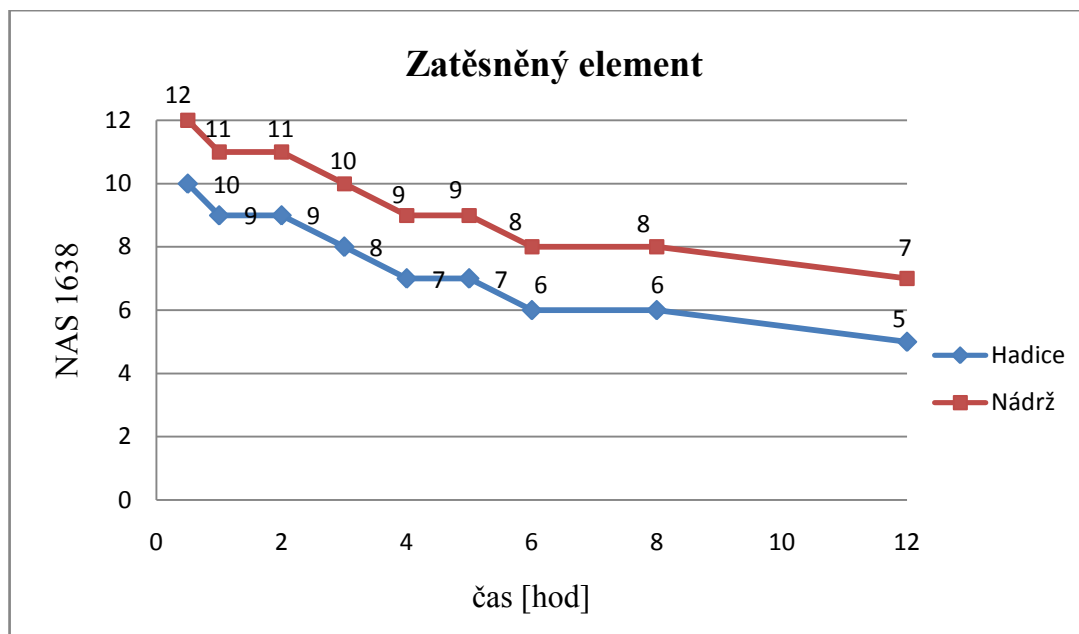
Vlevo (Obr. 34) je ukázána deformace okraje elementu a znečištění filtračního materiálu. Na prostředním obrázku je vidět postupné znečištění středu elementu. Na obrázku vpravo je zřejmá deformace a nánosy nečistoty, které ukazují, kam se soustředila největší část průtoku.



Obr. 35 Schéma filtračního zařízení (se zatěsněnou filtrační vložkou). *EM* – Motor, *HG* – Hydrogenerátor, *V* – Kulový ventil, *T* – Tlakové čidlo, *M* – Manometr, *F* – Filtr

Zatěsněný element		
Čas (hod)	Čistota oleje NAS 1638 (hadice)	Čistota oleje NAS 1638 (nádrž)
0,5	10	12
1	9	11
2	9	11
3	8	10
4	7	9
5	7	9
6	6	8
8	6	8
12	5	7
Tlak na vstupu do filtru 2,5 baru, průtok 2,5 l/min (měřeno na výstupu z hadice).		

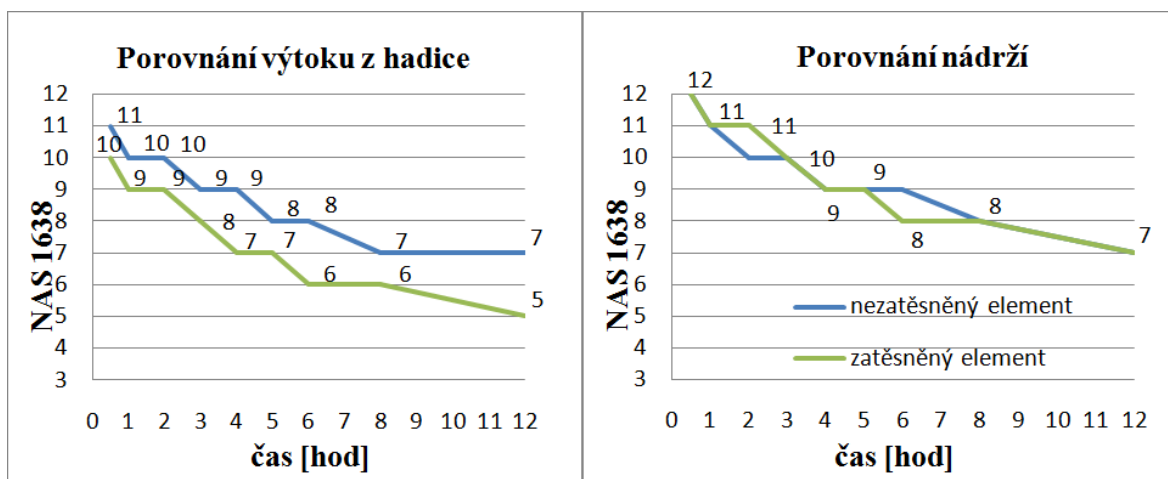
Tab. 11 Průběh testu u zatěsněného elementu se specifikacemi.



Obr. 36 Průběh testu u zatěsněného elementu.

Zhodnocení

Je vidět, že při zatěsnění filtrační vložky se čistota kapaliny o jednu třídu čistoty zlepší, než při stávající konstrukci, kterou firma nyní používá. Navíc má toto zlepšení rychlejší nástup a po celou dobu sestupnou tendenci i na konci testu (viz. Obr. 37). Zatěsnění bylo provedeno za pomoci změny vnitřní konstrukce filtrační nádoby přidáním „těsnících ploch“, které si firma nepřeje zveřejnit.



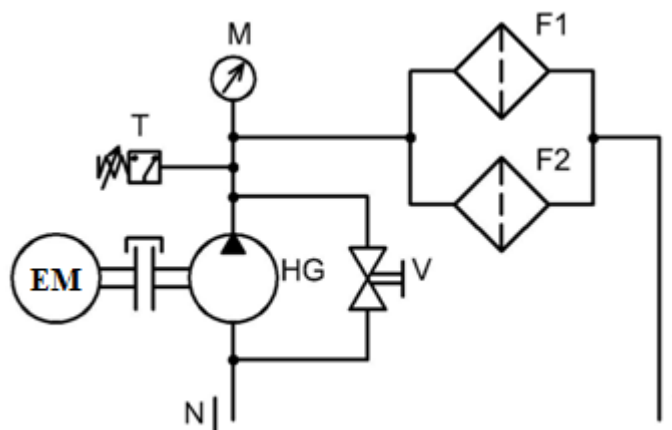
Obr. 37 Průběh testu při porovnání čistoty v nádrži a výtoku z hadice.

7.4 Dva paralelně řazené filtry

Průběh testu

Toto zařízení je firmou běžně používáno. Pro by-pass filtraci u nádrží do 1000 litrů. K testování bylo vyčleněno 100 l znečištěné hydraulické kapaliny.

Pro nastavení vstupního tlaku (nastaven na $p = 2,5$ bar) na filtrační element je použit kulový ventil V. Jako ochrana filtračního elementu je použito tlakové čidlo T, které je nastaveno na maximální tlak 5 bar.



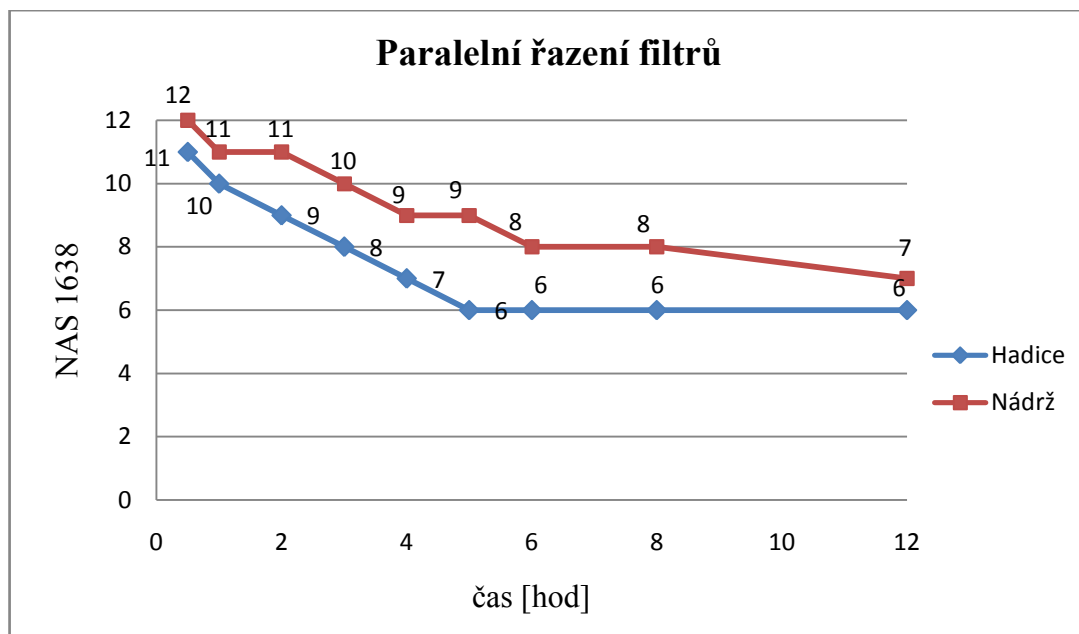
Obr. 38 Schéma filtračního zařízení (se dvěma sériově řazenými filtry)

EM – Elektromotor, HG – Hydrogenerátor, V – Kulový ventil, T – Tlakové čidlo,

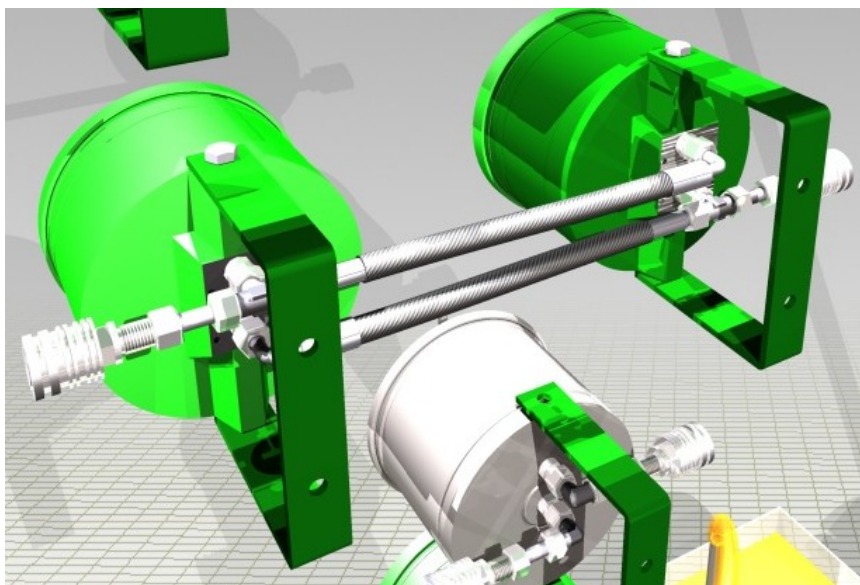
M – Manometr, F1;F2 - Filtry

Paralelní zapojení filtrů FT-OH 200		
Čas (hod)	Čistota oleje NAS 1638 (hadice)	Čistota oleje NAS 1638 (nádrž)
0,5	11	12
1	10	11
2	9	11
3	8	10
4	7	9
5	6	9
6	6	8
8	6	8
12	6	7
Tlak na F1 a F2 je 2,5 baru; průtok 4,5 l/min		

Tab. 12 Průběh testu s paralelním zapojením a specifikacemi.



Obr. 39 Průběh testu u paralelně řazených filtrů.



Obr. 40 Model paralelně řazených elementů.

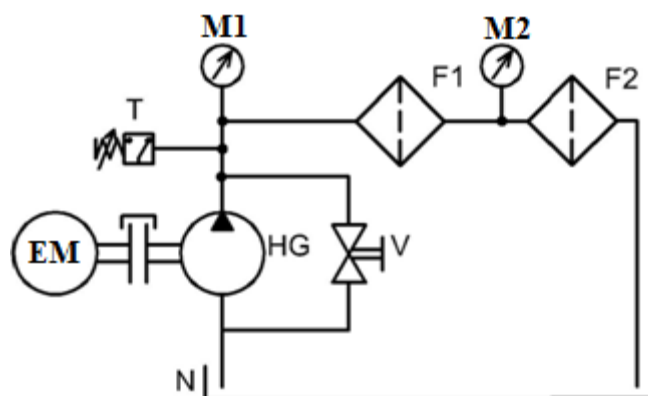
7.5 Dva sériově řazené filtry

Průběh testu

Toto zařízení je naprosto totožné jako původní obvod. Jediná změna je zde v řazení filtračních nádob, kdy na žádost firmy byly nádoby řazeny do série za sebou.

Z důvodů velkého tlaku bylo tlakové čidlo T nastaveno na tlak odpojení 8 barů. Což je maximální tlak, který dokážou filtrační nádoby a filtrační elementy ještě snášet. Jinak hrozí

vytržení kotvícího šroubu víčka z těla filtrační nádoby (filtrační nádoba je hliníkový odlitek).



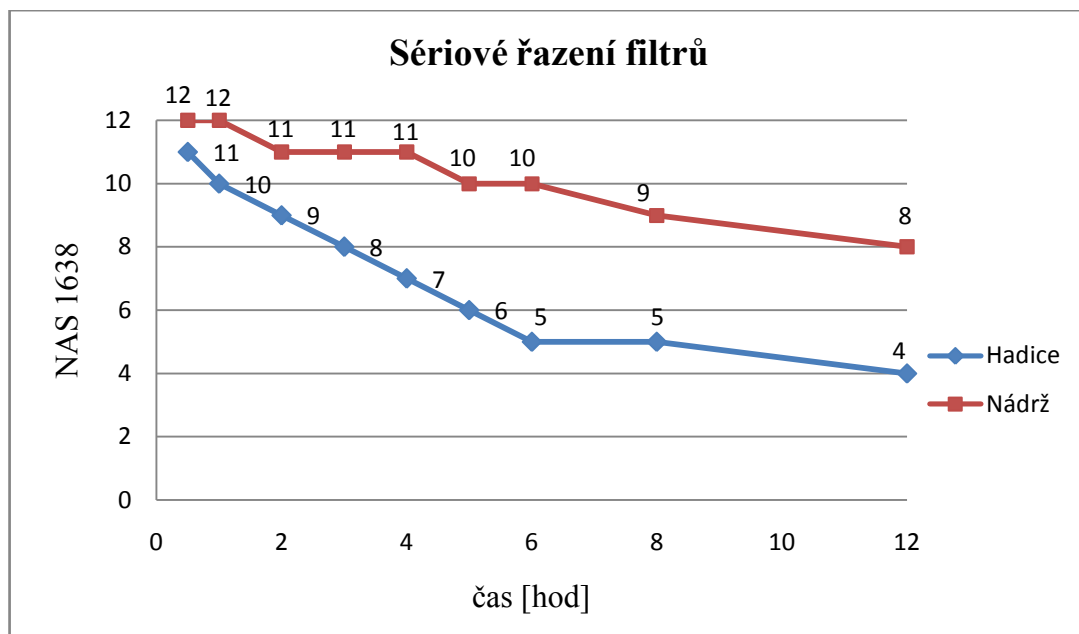
Obr. 41 Schéma filtračního zařízení (se dvěma sériově řazenými filtry)

EM – Elektromotor, HG – Hydrogenerátor, V – Kulový ventil, T – Tlakové čidlo,

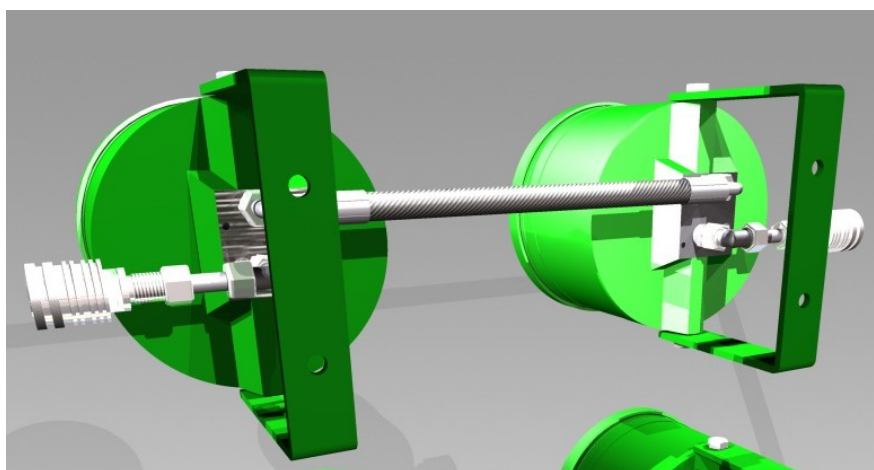
M1; M2 – Manometr, F1; F2 - Filtr

Sériové zapojení filtrů FT-OH 200		
Čas (hod)	Čistota oleje NAS 1638 (hadice)	Čistota oleje NAS 1638 (nádrž)
0,5	11	12
1	10	12
2	9	11
3	8	11
4	7	11
5	6	10
6	5	10
8	5	9
12	4	8
Tlak na F1 je 6 barů a tlak na F2 je 2 bary, průtok 1,5 l/min		

Tab. 13 Průběh testu u sériově řazených elementů se specifikacemi.



Obr. 42 Průběh testu u sériově řazených elementů.



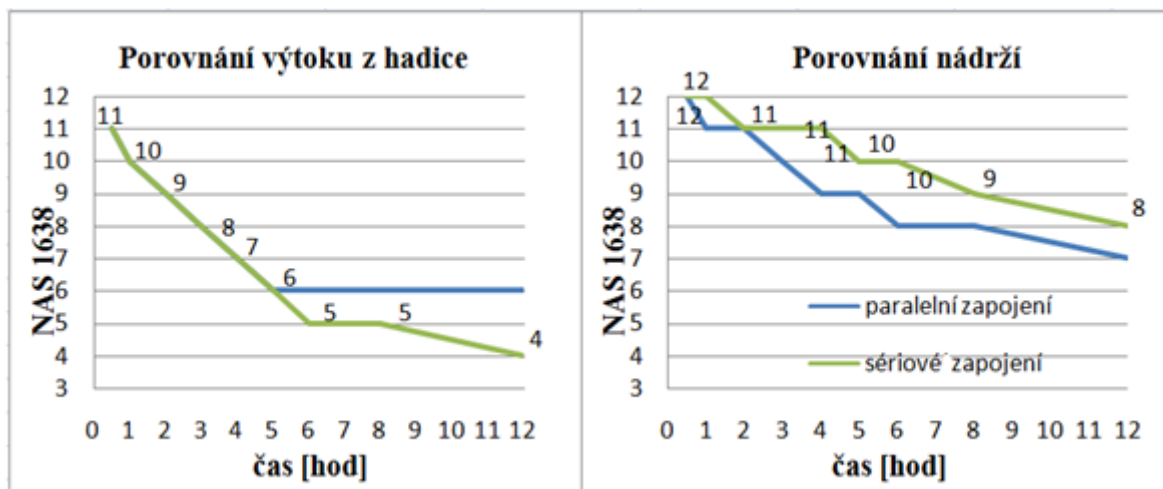
Obr. 43 Model sériově řazených elementů.

Zhodnocení

Z grafů je zřejmé, že sériové řazení má velkou výhodu ve výstupní čistotě oleje (obr. 44). Bohužel má dva velké zápory, pro které bylo toto řešení firmou odmítnuto z důvodu malého průtoku ($1,5 \text{ dm}^3/\text{min}$). Dále pak z důvodu toho, že tlak na první filtrační nádobě dosahuje meze technických parametrů této nádoby.

Oproti tomu paralelně řazené filtry mají třikrát vyšší průtok, takže kapalina projde těmito filtry vícekrát a je tak vyšší možnost zachycení nečistot. I tento způsob má své

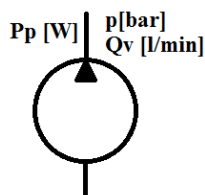
omezení, protože čistota filtrace se po 5 hodinách ustálí na hodnotě NAS 6. Což firmě dostačuje.



Obr. 44 Průběh testu při porovnání čistoty v nádrži a výtkou z hadice.

8 Ekonomické vyhodnocení

Ekonomický výpočet a úspora energie je velmi důležitá při provozu filtračního zařízení. Zvláště pro firmu, která se na základě těchto výpočtů rozhodne, jestli je výhodné pozměnit stávající konstrukci filtračních nádob.



Obr. 45 Schematické znázornění hydrogenerátoru

Vstupující veličiny:

Mechanicko-tlaková účinnost zubového hydrogenerátoru $\eta_{m,p} = 0,95$. Průtoková účinnost hydrogenerátoru $\eta_Q = 0,85$. Účinnost elektromotoru $\eta_{el} = 0,98$. U obou měření je shodně nastavený tlak $p = 2,5$ bar. Cena za 1 kWh elektrické energie se pohybuje cca 3 Kč. [22]

Element	Hodnota NAS 7 pro 100 l [h]	Hodnota NAS 8 pro 100 l [h]	Q_v [m ³ /s]
Nezatěsněný	8	6	$8 \cdot 10^{-5}$
Zatěsněný	4	3	$8 \cdot 10^{-5}$

Tab. 14 Vstupní hodnoty pro výpočet.

Výpočet pro zatěsněný a nezatěsněný element

Celková účinnost: (1)

$$\eta_c = \eta_{m,p} \cdot \eta_Q = 0,95 \cdot 0,85 = 0,81$$

Hydraulický výkon: (2)

$$P_i = Q_i \cdot p_i = 8 \cdot 10^{-5} \cdot 250\,000 = 20\,W$$

Příkon hydrogenerátoru: (3)

$$P_p = \frac{P_i}{\eta_c} = \frac{20}{0,81} = 24,7\,W = 0,0247\,kW$$

Energie hydrogenerátoru (při $t=6$ hod): (4)

$$E = P_p \cdot t = 0,0247 \cdot 6 = 0,1482 \text{ kWh}$$

Celková energie: (5)

$$E_c = \frac{E}{\eta_{el}} = \frac{0,1482}{0,98} = 0,1612 \text{ kWh}$$

Náklady na elektrickou energii: (6)

$$L = E_c \cdot 3 = 0,161 \cdot 3 = 0,4836 \text{ Kč}$$

Hodinové provozní náklady: (7)

$$N_h = \frac{L}{t} = \frac{0,4836}{6} = 0,0806 \text{ Kč}$$

Celoroční provozní náklady: (8)

$$N_{rok} = N_h \cdot t_{rok} = 0,0806 \cdot 2016 = 162,49 \text{ Kč}$$

Parametry	Nezatěsněný element	Zatěsněný element
P_i [W]	20	20
P_p [W]	24,7	24,7
E pro NAS 8 [kWh]	0,1482	0,0741
E pro NAS 7 [kWh]	0,1976	0,0988
E_c pro NAS 8 [kWh]	0,1612	0,0805
E_c pro NAS 7 [kWh]	0,2148	0,1074
Náklady na NAS 8 [Kč]	0,4836	0,2415
Náklady na NAS 7 [Kč]	0,6444	0,3222
Hodinové provozní náklady	0,0806	0,0806
Celoroční provozní náklady NAS 8, NAS 7 [Kč]	162,49	162,49

Tab. 15 Vypočítané hodnoty.

Jako hodnotu pro rok provozu byly zvoleny pracovní dny v rozmezí 8 pracovních hodin za rok 2014, což činí 2016 pracovních hodin, při 252 pracovních dnech bez státních svátků ($t_{rok} = 252 \cdot 8 = 2016$ hodin). [21]

Při těchto propočtech jsem nezahrnul cenu filtračního elementu a jeho nutnost výměny, která je značně individuální v závislosti na znečištění hydraulické kapaliny, druhu nečistot a jiných parametrech.

Jako referenční hodnotu volím 10 000 l. Je to přibližný objem kapaliny, který za jeden rok přefiltruje jedno zařízení. Hrubým výpočtem se pak určí, kolik času bude třeba, aby se kód čistoty dle normy NAS dostal na námi zvolenou hodnotu (zvolil jsem kód čistoty 7 a 8 dle normy NAS 1638) pro zatěsněný a nezatěsněný filtrační element. Při filtraci byl filtrován objem 100 l hydraulické kapaliny (viz. Kapitola 5 volba hydraulické kapaliny).

$$100 \text{ l} \dots \dots \dots 4 \text{ h (NAS 7)}$$

$$\underline{10\,000 \text{ l} \dots \dots \dots t \text{ h (NAS 7)}}$$

$$t = \frac{4 \cdot 10\,000}{100} = 400 \text{ h} \quad (9)$$

	NAS 7 [h]	NAS 8 [h]
Nezatěsněný element	800	600
Zatěsněný element	400	300

Tab. 16 Doba filtrace pro 10 000 litrů hydraulické kapaliny.

Z tabulky č. 16 je patrné, že konstrukční změnou klesla doba filtrace o polovinu. Na rozdíl od stávající konstrukce. To je výrazná úspora času, která znamená, že upravená filtrační nádoba přefiltruje dvakrát více kapaliny na hodnotu 7 normy NAS 1638, než stávající konstrukce používaná firmou Filtration Technology. Toto zefektivnění znamená, že takto ušetřený čas lze využít pro další filtraci a tím i navýšení tržeb při snížení ceny z přefiltrovaného litru hydraulické kapaliny. Tento výpočet ovšem nezahrnuje úskalí, která se můžou vyskytnout při filtraci jiných olejů.

Dále v tomto propočtu není zahrnuto, že podle druhu znečištění hydraulické kapaliny je ovlivněna i životnost filtračního elementu. Například u některých olejů se element bude muset měnit častěji, než u jiných.

Životnost filtračního elementu je zatížena větším množstvím parametrů, jako například obsahem vody v oleji, což snižuje výrazně životnost filtrační vložky. Jelikož je vyrobena z filtračního papíru, který není obohacen žádnými pryskyřicemi, ani jinými materiály. Výhodou filtračního elementu je jeho nízká cena.

9 Závěr

Tato práce se zabývá návrhem filtračního zařízení pro hydraulickou kapalinu (ať už emulze nebo olej). Hydraulická kapalina je důležitá část hydraulických strojů, která vyžaduje velkou pozornost. Zvláště její čistota, která ovlivňuje funkčnost stroje a udává životnost jeho součástí.

Na počátku práce je stručné seznámení s nejčastějšími typy opotřebení vyskytujících se v hydraulických obvodech a druhy nečistot, které jsou za toto opotřebení odpovědné. Toto opotřebení se dále projevuje na součástech obvodu a jeho celkovou degradaci. To vede k nutným opravám zařízení, prostojů, nepřesnostem provozu, haváriím a může vést až úplné destrukci zařízení.

Bylo provedeno seznámení s postupy stanovením třídy znečištění kapaliny (tzv. kód čistoty) pomocí různých technologií. Ať už pomocí automatických čítačů nečistot, nebo optickou mikroskopií. Dále zde byly uvedeny normy pro stanovení kódu čistoty kapaliny a to podle několika norem, z nichž nejčastěji používáme normu ISO 4406 a americkou normu NAS1638.

Byl proveden a vyhodnocen experiment s materiály firmy NANOVIA s.r.o., se kterými firma Filtration Technology s.r.o. dále plánuje pracovat. Také je plánuje použít při výrobě nových filtračních elementů do stávajících filtrů, nebo do zcela nové konstrukce filtrů. Filtrační schopnost těchto nanomateriálů je oproti stávajícím materiálům vysoká a to bez rapidního nárůstu tlakového spádu. Budou však třeba další testy, jelikož tyto materiály nejsou dobře prozkoumány z hlediska filtrace olejů a bude zapotřebí zjistit dobu jejich zahlcení nečistotami. Popřípadě průzkum dalších parametrů, aby se zajistila jejich vhodnost a optimálnost pro použití v olejových filtrech. Tyto filtrační materiály mají velký potenciál do budoucna, ale prozatím jejich nasazení v praxi znemožňuje vysoká pořizovací cena.

Dále bylo provedeno měření stávající filtrační zařízení používaných firmou Filtration Technology s.r.o.. Toto měření bylo porovnáno s měřeními pozměněných zařízení. A to změnou vnitřní konstrukce filtrační nádoby, nebo řazením filtračních nádob.

Z měření vyplynulo, že konstrukční změnou v nádobě lze docílit zlepšení filtrace od počátku, až o 2 třídy čistoty dle normy NAS 1638 při zachování průtoku. Dále v kapitole 7

byl ekonomicky zhodnocen přínos této změny. Z hlediska ušetřených energií se nejedná o žádný rozdíl. Spíše je zajímavé, že doba filtrace klesla o polovinu, což je velký přínos. Ovšem se zanedbáním nutnosti výměny filtračního elementu.

U měření se dvěma filtry se ukázalo nové řešení řazení filtrů do série jako nevhodné z důvodu malého průtoku a velkých tlaků v první filtrační nádobě. Tento tlak dosahoval přípustné meze, jelikož filtrační nádoba je odlitek z hliníku a hrozilo vytržení kotvícího šroubu ze dna nádoby. Mohlo by se uvažovat o jiném materiálu, který by se použil místo hliníku, například ocel. Také průtok byl velmi malý (1,5 l/min) a tím by se doba filtrace neúměrně prodloužila, uvážíme-li že vstup a výstup bude stejný pro jednu nádrž.

Seznam použité literatury

- [1] PAVLOK, B. *Hydraulické prvky a systémy díl 2. Řídicí prvky hydrostatických systémů. Příslušenství hydraulických obvodů*. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2008. 150 s. ISBN 978-80-248-1827-6.
- [2] ARGO- HYTOS s.r.o.: *Čistota hydraulických kapalin* [online]. [cit. 2013-12-23]. <<http://www.argohytos.com/cz/>>
- [3] TRIBOLOGIA: *Archiv časopis Tribotechnika: Tribotechnika 2/2009,1/2010* [online]. [cit. 2013-11-23]. <<http://www.tribotechnika.sk>>
- [4] PAVLOK, B.; SIVÁK, V. *Hydraulické systémy v provozní praxi*. Ostrava: VŠB Ostrava+BIC Ostrava, 2000. 95s. (Skripta pro specializační kurz).
- [5] TRIBOTECHNICKÉ INFORMACE, časopis, číslo 2/2010 [online]. [cit. 2014-2-23].<<http://www.tribotechnika.cz>>
- [6] PARKER HANNIFIN. *Manuál k obsluze čítače nečistot Laser CM20*. 2021.
- [7] MANNESMANN REXROTH. *Projektování a konstrukce hydraulických zařízení*. Příručka hydrauliky Svazek 3. 1988. 362 s. ISBN 3-8023-02664.
- [8] KOPÁČEK, J. *Technická diagnostika hydraulických mechanismů*. Praha: SNTL, 1990. 160 s. ISBN 80-03-00308-3.
- [9] TRIBOTECHNIKA: *Archiv časopis Tribotechnické informace* [online]. [cit. 2014-2-16] <<http://www.tribotechnika.cz>>
- [10] *Degradace strojních součástí* [online]. [cit. 2014-2-16]. Dostupné na WWW: <<http://degradace.tf.czu.cz>>.
- [11] HYDAC – spol. s r.o.: *Brochures: Particle Measurement Technology in Practice* [online]. [vid. 2014-1-14]. < <http://www.hydac> >
- [12] *Filtrace olejů* [online]. [cit. 2014-2-18]. Dostupné na WWW: <<http://www.omacz.cz>>.
- [13] SCHMITT, A. a kolektiv. *Příručka hydrauliky*. Svazek 1. Lohr am Main: Mannesmann Rexroth, 1981. 226 s. ISBN 3-8023-0619-8.
- [14] FINDEISEN, D. ; FINDEISEN, F. . *Olhydraulik* Berlin – Heidelberg - New York : Springer Verlag, 1994. 765 s. ISBN 3-540-54465-8.
- [15] PAVLOK, B.; SIVÁK, V. *Provoz a údržba hydraulických mechanismů*. 1.vyd. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 1989. 93 s.

- [16] KOKEKTIV AUTORŮ. *Čistota kapalin a filtrace*. Publikční číslo 60/554/90. Ostrava: Dům techniky ČSVTS Ostrava, 1990. 134 s.
- [17] KOKEKTIV AUTORŮ. *Hydraulické kapaliny, filtrace a údržba*. Ostrava: Dům techniky Ostrava, 1993. 113 s.
- [18] BAROŠKA, J. *Hydrostatické mechanizmy*. Žilina: Hydropeutech s.r.o. Žilina, 2012. 388 s.
- [19] EXNER, H., FREITAF, R., et al. *Der HydraulikTrainer Band 1, Grundlage und Komponente der Fluidtechnik Hydraulik*. Maesmann Rexroth GmbH, Lohr am Main, 1991. ISBN 3-802-0619-8.
- [20] PARKER HANNIFIN. *Hydraulic filtration and contamination control* [online]. [cit. 2014 – 04 - 13]. < <http://www.parkerhfde.com> >
- [21] *Plánovací kalendář 2013* [online]. [cit. 2014 – 05 - 11]. < <http://2013.kalendar-online.cz/planovaci-kalendar?h=8> >
- [22] *Marzocchi pompe* (firemní materiál). 60s
- [23] KLEENTEK. *Odstraňování nečistot z olejů* [online]. [cit. 2014 – 05 - 10]. < <http://www.kleentek.cz> >
- [24] NANOVIA. *Nanomateriály* [online]. [cit. 2014 – 05 - 10]. < <http://www.nanovia.cz> >

Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval všem, kteří mi pomohli k vypracování mé diplomové práce. Zvláště Panu docentu Vašinovi za odborné vedení a Lucii Michalčíkové za korekturu mé práce.